

СОВЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
ЛЕНИНГРАДСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО АДМИНИСТРАТИВНОГО РАЙОНА

Б. А. МАКСИМИХИН

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Под редакцией *П. И. Петрова*

ЦЕНТРАЛЬНОЕ БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ленинград · 1959

Борис Алексеевич Максимихин

Пайка металлов в приборостроении

Редактор **М. Г. Хаяутин**

Технический редактор **Г. В. Хазов**

Корректор **М. А. Шолохова**

М-05184

Сдано в набор 25/VIII-1958 г.

Подписано к печати 10/III-1959 г.

Формат бумаги 60×92¹/₁₆.

Печ. л. 7,25

Уч.-изд. л. 6,63

Изд. № 2004/7

Тираж 3000 экз.

Бесплатно.

Заказ № 1815

ЦБТИ Ленсовнархоза, Ленинград, Разъезжая ул., 26/28

Типография № 12 УПП Ленсовнархоза. Ленинград, Литейный пр., 55

ВВЕДЕНИЕ

Пайкой называется процесс соединения металлических деталей в конструктивный узел путем нагрева и введения в зазор между ними расплавленного металла (припоя), имеющего более низкую температуру плавления, чем соединяемые металлы. Пайка является одним из наиболее древних технологических процессов, связанных с обработкой металлов. Еще за много веков до нашей эры народы, населявшие Азию и Египет, применяли пайку при изготовлении золотых и серебряных украшений. В Государственном Эрмитаже можно видеть паяные серьги и ожерелья, возраст которых исчисляется четырьмя-пятью тысячами лет.

Позже пайку начали широко использовать для соединения не только цветных, но и черных металлов при изготовлении военного снаряжения, украшений, посуды и других предметов домашнего обихода.

Несмотря на большие возможности совсем молодой отрасли техники — газовой и электрической сварки металлов, бурно развившихся за последние десятилетия, пайка сохранилась до наших дней и не утратила ведущей роли в приборостроении, электро- и радиотехнике, авиационной и судостроительной промышленности. Объясняется это главным образом тем, что пайка в отличие от сварки обеспечивает соединение деталей в узлы без оплавления основного металла, благодаря чему резко снижается степень коробления и окисления металла.

Более того, пайка имеет еще одно существенное преимущество, которое широко используется в производстве, настройке и ремонте различных электро- и радиотехнических устройств и приборов. Оно состоит в том, что паяные соединения, в отличие от сварных, можно неоднократно разъединять и повторно паять после перестановки или замены деталей, вышедших из строя.

Говоря о прочности и герметичности соединений, следует отметить, что при правильном конструировании элементов соединяемых деталей паяные швы не уступают, а иногда превосходят сварные. Вот почему для отдельных отраслей техники и в первую очередь для приборостроения пайка является незаменимым и экономически более выгодным процессом сборки деталей в узлы. Несмотря на это, пайке и совершенствованию ее технологии

уделялось крайне мало внимания, а зачастую ее считали устаревшим процессом, который в ближайшее время будет полностью заменен сваркой.

Эти утверждения ошибочны и необоснованы, делаются они без анализа и объективной оценки повседневных потребностей бурно развивающихся электро- и радиотехники, где пайка и сварка не могут противопоставляться, а призваны дополнять друг друга, непрерывно совершенствоваться и разумно применяться.

Благодаря наличию сети крупных научно-исследовательских организаций и специализированных лабораторий, занимающихся вопросами сварки металлов, удалось за короткое время глубоко исследовать и освоить высокопроизводительные и экономически выгодные способы сварки различных металлов, оснатив сварочные процессы уникальными машинами, полностью заменившими ручной труд.

В области пайки до недавнего времени исследования проводились эпизодически, отдельными исследователями, решающими не весь комплекс, а лишь частные вопросы по выбору припоев, флюсов, приемов пайки и ее механизации. Поэтому, несмотря на широкое применение пайки в различных отраслях машиностроения, она оставалась мало изученным процессом, который требовал высоко квалифицированной рабочей силы, а качество паяных изделий в большой мере зависело от мастерства исполнителей.

Однако последние годы ознаменовались организацией специализированных лабораторий по пайке металлов в ряде отраслевых научно-исследовательских технологических институтов.

В приборостроении развертывание экспериментально-исследовательских работ в области пайки диктовалось не только ее отставанием от сварки, но и необходимостью перехода на более совершенные конструкционные материалы и освоением прогрессивных методов проектирования и изготовления изделий.

Как известно, еще совсем недавно в производстве приборов основным конструкционным материалом служила медь и ее сплавы, которые, обладая высокой электропроводностью, отличной способностью к пайке и рядом других весьма ценных технологических свойств, считались незаменимыми.

Поэтому, несмотря на значительный ежегодный прирост в производстве меди, она в условиях бурного развития таких отраслей, как электро- и радиотехника по-прежнему оставалась одним из дефицитных материалов. Лишь в последние годы, сначала при решении задач резкого снижения веса и габаритов специальной радиоаппаратуры, а затем и в электротехнике проведена значительная работа по замене меди более легкими и не дефицитными конструкционными материалами на алюминиевой основе.

Идея замены меди алюминием не новая и уже давно привлекала внимание конструкторов, так как алюминий по электро-

проводности и технологическим свойствам очень близок к меди, а его стоимость и удельный вес соответственно в 1,5 и 3 раза меньше меди.

Более того, известно, что производство алюминия очень быстро растет, а по содержанию в земной коре алюминий занимает первое место, составляя — 7,5%, за ним следуют: железо — 4,2%, магний — 2,35%, титан — 0,5%, хром, никель, ванадий по 0,2%, в то время как медь занимает среди металлов одно из последних мест, составляя всего лишь — 0,01%.

Но перечисленные достоинства алюминия в применении к электро- и радиотехнике до последнего времени сводились почти к нулю по причине известных трудностей его пайки, которая в сборочно-монтажных работах занимает одно из ведущих мест, составляя до 25% от общей трудоемкости изготовления электрорадиоаппаратуры.

Широкое применение алюминия и его сплавов в приборостроении стало возможным в результате исследований и успешного решения комплекса вопросов, связанных с технологией твердой и мягкой пайки не только алюминия, но и его сплавов, а также в соединении их с другими металлами.

Разработка состава флюсов, припоев и технологии пайки в последние годы создала условия для более широкого применения в производстве аппаратуры также и деформируемых магниевых сплавов, которые, как известно, относятся к самым легким конструкционным материалам, применяемым в технике.

Наконец, освоение изделий с печатными схемами, а также изделий, работающих при резко повышенных температурах в интервале от $+200$ до $+500^{\circ}\text{C}$, шло с применением новых материалов и вызывало необходимость в изыскании более прогрессивных процессов пайки.

Учитывая, что комплекс вопросов, относящихся к технологии пайки деталей радиотехнической аппаратуры из цветных и легких металлов, освещен в литературе отдельными исследователями далеко не полно, в настоящей брошюре сделана попытка обобщить результаты шестилетней исследовательской работы лаборатории пайки, а также опыта отечественной и зарубежной техники.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ

Характерные особенности и сущность процесса

В зависимости от температуры плавления и прочности применяемых припоев пайка разделяется на мягкую и твердую.

При мягкой пайке используют сравнительно легкоплавкие припои с температурами плавления не выше 300°C , которые обеспечивают получение паяных швов с пределами прочности от 3 до 10 кг/мм^2 .

При твердой пайке применяют припои с температурами плавления выше $300\text{—}400^{\circ}\text{C}$; прочность паяных соединений в этом случае достигает $30\text{—}50\text{ кг/мм}^2$.

Общим для процессов пайки черных и цветных металлов является обязательное выполнение следующих условий, которые предопределяют возможности пайки и ее качество:

1. Очистка поверхности деталей от пыли, жира, краски и выбор флюса, обеспечивающего активное растворение окисной пленки на поверхности основного металла и припоя. Окисная пленка является главным препятствием пайке, а ее свойства, толщина и скорость образования неодинаковы для различных металлов.

2. Выбор состава припоя способного смачивать и растворять твердый металл паемых деталей с образованием оптимального внутреннего строения паяного шва.

3. Обеспечение между соединяемыми поверхностями гарантийных зазоров, величина которых не противоречит известным законам течения жидкостей по капиллярам и способствует повсеместному затеканию припоев.

4. Равномерный нагрев деталей до температуры на $50\text{—}100^{\circ}\text{C}$, превышающей точку начала затвердевания соответствующего припоя.

При невыполнении хотя бы одного из перечисленных условий пайка металлов становится затруднительной, а ее качество резко ухудшается.

Процесс пайки заключается в следующем: по достижении соответствующей температуры припой расплавляется и, соприкасаясь с нагретым, но свободным от окисной пленки основным ме-

таллом, смачивает и растекается по его поверхности. Смачивание твердого металла жидким припоем происходит в том случае, если сила сцепления между молекулами твердого тела и жидкостью будет больше, чем между молекулами самой жидкости. Возможность смачивания определяется в основном поверхностным натяжением жидкого припоя.

В результате растворяющего действия жидкого припоя в местах смачивания основной металл деталей растворяется в припое. Благодаря процессу растворения на границе «твердый металл — жидкий припой» образуется слой насыщенного раствора, из которого частицы основного металла диффундируют в припой, а его частицы в основной металл. Взаимное проникновение одного металла в другой приводит к тому, что в паяном шве образуется определенная промежуточная структура сплава, механические свойства которого отличны от основного металла и припоя.

Процессы растворения и взаимной диффузии металлов имеют решающее значение для получения оптимального строения паяного шва. Благодаря им структура паяного шва может представлять твердый раствор основного металла в припое или же их химическое соединение.

Образование твердого раствора в паяном шве является наиболее желательным для придания шву прочности и устойчивости против коррозии.

К выбору состава припоя для пайки металла следует подходить с учетом его способности смачивать и растворять твердый металл, обеспечивать взаимную диффузию и образовывать в паяном шве структуру твердого раствора.

Кроме этого, в зависимости от условий работы паяных изделий к припоям предъявляют и другие требования.

В частности, припои должны образовывать швы, электропроводность которых не должна значительно отличаться от электропроводности основного металла деталей.

По коэффициентам теплового расширения припои и соединяемые ими металлы должны быть максимально близкими, в противном случае напряжения, возникающие в паяных швах, могут привести к трещинам.

Перед пайкой поверхность деталей и припоя необходимо очистить от пыли, жира, краски и окисной пленки. Удаление внешних загрязнений (пыли, жира и краски) не представляет трудностей. Но после очистки поверхность всех металлов, в том числе и припоя, имеет окисную пленку, толщина и свойства которой различны для отдельных металлов и сплавов. При пайке окисная пленка не позволяет расплавленному припою войти в контакт с чистым металлом деталей: припой не смачивает и не растекается по поверхности основного металла.

Если окисную пленку удалить напильником, шабером или другим способом, то при нагреве деталей под действием кислорода воздуха и температуры она интенсивно образуется вновь.

Для очистки поверхностей деталей и припоя от окисных пленок и для предохранения очищенных поверхностей от повторного окисления наиболее широко применяют химические реагенты, получившие названия паяльных флюсов.

По характеру действия на окисную пленку флюсы разделяют на две группы. К первой относят флюсы, которые активно воздействуют на пленки и, растворяя их, создают условия для беспрепятственного контакта жидкого припоя с основным металлом. Примером таких флюсов могут служить хлористый цинк, хлористый аммоний, борная кислота, бура, тетрафторборат калия, флюсы ЛТИ, 34А, Ф380А, Ф59А и др.

Флюсы второй группы во время нагрева и пайки почти не взаимодействуют с окисными пленками металлов, а служат лишь для защиты от повторного окисления поверхности металла, ранее очищенной от окисной пленки. К флюсам этой группы относятся канифоль, ее растворы в спирте, парафин и др.

В зависимости от химического состава остатки флюсов по-разному влияют на коррозионную стойкость паяных соединений и в этом отношении флюсы разделяют на коррозионные и некоррозионные.

Помимо флюсов, для предотвращения окисления металла и удаления с его поверхности окисных пленок нагреваемый металл изолируют от окисляющей среды и создают условия для восстановления ранее образовавшихся окисных пленок. Практически это достигается тем, что нагрев и пайку производят в восстановительной атмосфере или под вакуумом. Восстановительной средой может быть водород или диссоциированный аммиак, легко восстанавливающие металлы из окисных пленок.

В последние годы при пайке алюминия и его сплавов появился третий, принципиально новый способ удаления окисной пленки, основанный на механическом разрушении ее под действием ультразвуковых колебаний.

Перечисленные способы удаления окисных пленок должны обеспечить свободный доступ жидкому припою для смачивания поверхности основного металла в процессе его нагрева и пайки.

Смачивание и растекание жидкого припоя неразрывно связаны с явлениями капиллярности, благодаря которым достигается затекание припоя в зазоры на глубину десятков миллиметров. Все эти явления подчиняются общим физическим законам течения жидкостей по капиллярам. Как известно, высота поднятия жидкости в капилляре пропорциональна поверхностному натяжению ее и обратно пропорциональна радиусу капилляра и плотности жидкости.

Применительно к пайке определенным припоем при заданной температуре поверхностное натяжение и плотность жидкого припоя являются величинами постоянными. Следовательно, решающей в затекании припоя будет величина радиуса капилляра, или иначе — величина зазора между соединяемыми поверхностями де-

талей, которая меняется в зависимости от назначенных допусков, точности подгонки деталей и коэффициента линейного расширения металла.

На затекание припоя и образование нормальных галтелей (менисков) наряду с величиной зазоров существенно влияют тип шва, технологические припуски, фаски, отсутствие заусениц и возможность свободного расширения соединяемых деталей при температуре пайки.

Учитывая важность этих вопросов для качественных показателей пайки деталей из любых марок металлов и сплавов, рассмотрим их более подробно.

Технологические требования к конструкции деталей и узлов, соединяемых пайкой

Очень часто при проектировании паяных соединений совершенно не учитывают специфические особенности технологического процесса пайки и проводят полную аналогию между пайкой и сваркой. Несомненно, что пайка и сварка по технологическим признакам родственные процессы, а по назначению выполняют одну и ту же роль, заключающуюся в соединении отдельных деталей в конструктивный узел. Но для сварки характерным является создание внутрикристаллических форм связи, а при пайке возникают межкристаллические формы связи между припоем и основным металлом. Кроме этого, имеется и внешнее различие, в чем легко убедиться при рассмотрении элементов шва (рис. 1).

Для сварного и паяного швов общим является лишь тип соединения внахлестку, а все другие элементы имеют коренное отличие. Так, например, для сварного шва (рис. 1, а) валик присадочного материала на участке $b - в$ выпуклый, а основание его идет в толщу оплавленного основного металла. Зазор по ширине нахлестки на участке $a - б$ не заполнен присадочным материалом. Механическая прочность шва зависит лишь от размера валика h . Кромки и поверхности деталей в местах сварки потеряли свои геометрические формы в результате оплавления металла.

В отличие от сварки у паяного соединения (рис. 1, б) на участке $b - в$ валик, или, как принято называть, галтель припоя имеет вогнутую форму с очень плавными переходами от припоя к поверхности основного металла. Зазор по всей ширине нахлестки на участке $a - б$ полностью заполнен припоем. Основной металл не оплавляется, геометрические формы кромок и поверхностей соединяемых деталей сохраняются. Прочность паяного соединения почти не зависит от размеров галтелей припоя, но сильно изменяется при изменении размера $a - б$, определяющего величину нахлестки. Следовательно, зная пределы прочности припоя и основного металла деталей, легко рассчитать требуемую ширину нахлестки, которая обеспечит прочность паяного шва,

равную или превосходящую предел прочности основного металла. Кроме того, сварка идет при последовательном наложении сначала верхнего шва $б—в$, а затем нижнего, а в процессе пайки образование обеих галтелей и заполнение припоем зазора по ширине нахлестки на участке $а—б$ происходят почти мгновенно.

Все это свидетельствует о том, что проектирование деталей и узлов, соединяемых пайкой, необходимо производить с обязательным учетом рассмотренной выше специфики процесса и в каждом конкретном случае правильно выбирать наиболее выгодные типы соединений, величину зазоров в них, наличие и размеры фасок и технологических припусков.

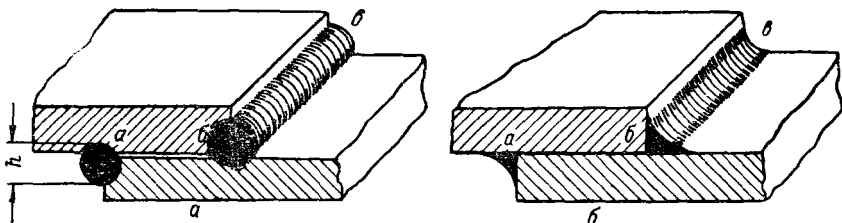


Рис. 1. Форма и элементы сварного и паяного шва при соединении внахлестку:

$а$ — сварной шов; $б$ — паяный шов.

Тип соединения выбирают с учетом эксплуатационных требований, предъявляемых к узлу, и технологичности узла в отношении пайки. В узлах, работающих при значительных нагрузках, где, кроме прочности шва, необходима герметичность, детали следует соединять только внахлестку.

При производстве волноводов, где к форме и чистоте поверхности внутренних каналов труб предъявляют повышенные требования, нахлесточные соединения в ряде случаев полностью исключают попадание флюсов во внутренние полости. В результате этого упрощается удаление остатков флюсов и совершенно отпадает трудоемкая зачистка внутренних каналов от наплывов припоя.

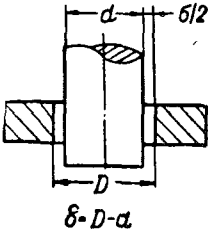
Стыковые соединения, гарантирующие в меньшей степени прочность и герметичность паяных швов, следует применять для малонагруженных узлов, где не требуется герметичность.

Наличие и величина зазоров между поверхностями деталей, соединяемых пайкой, имеют решающее значение. При больших зазорах или при отсутствии их пайка невозможна.

При проектировании паяных соединений величину зазоров необходимо выбирать с учетом материала деталей, руководствуясь данными табл. 1. Величина зазоров меньше всего зависит от способа нагрева, так как решающим при пайке является жидкотекучесть используемых припоев, явления капиллярности и коэффициент линейного расширения материала деталей, соединяемых пайкой.

Таблица 1

Величина зазоров в паяных соединениях

Эскиз соединения	Материал деталей, соединяемых пайкой	Величина зазора δ , мм
 $\delta = D - a$	Медь и ее сплавы . . .	0,1—0,2
	Алюминий и его сплавы	0,1—0,3
	Магний и его сплавы .	0,1—0,3

Резьба, острые кромки и заусеницы на отдельных элементах деталей осложняют пайку и снижают ее качество. При нагреве они обгорают, загрязняя паяные швы шлаками. Острые углы резьбовых канавок благоприятствуют капиллярным силам, и расплавленный припой заполняет резьбу. Кроме этого, для деталей из магния и его сплавов заусеницы, пыль и острые кромки представляют серьезную опасность в пожарном отношении.

Перечисленные дефекты можно предотвратить еще при проектировании и изготовлении деталей. На отдельных элементах деталей с острыми кромками необходимо предусматривать фаски от $0,3 \times 45^\circ$ до $0,5 \times 45^\circ$ для деталей из медных и алюминиевых сплавов и от $0,5 \times 45^\circ$ до $1 \times 45^\circ$ — для магниевых. Резьбовые элементы деталей следует проектировать возможно дальше от места пайки, а если это невозможно, предусматривать технологические барьеры (выступы или выточки), преграждающие затекание припоя в резьбу. Если изолировать резьбу от припоя не удастся, нарезку следует выполнять после пайки деталей.

В соединениях труб с фланцами или с настрочными пластинами необходимо предусматривать технологические припуски не менее 2 мм, что улучшает условия формирования галтелей припоя, облегчает подачу флюса и припоя, а главное, исключает попадание их на внутренние стенки труб и других закрытых полостей узлов.

Примеры конструктивного оформления паяных соединений с учетом перечисленных технологических требований приведены на рис. 2, 3 и 4.

Рассмотренные на этих рисунках примеры справедливы для любых марок материала (стали, меди, алюминия, магния или их сплавов).

Опыт производства аппаратуры с применением печатных схем, где пайка погружением позволяет в десятки раз повысить производительность труда и обеспечить высокое качество, также выдвигает ряд технологических требований к монтажу навесных деталей и конструкции самих плат.

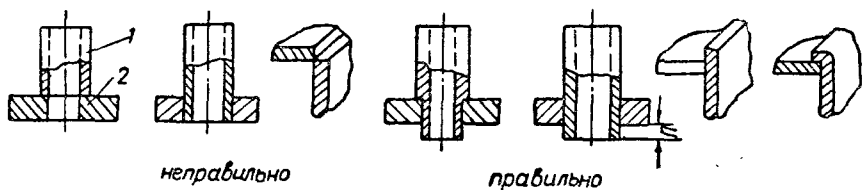


Рис. 2. Соединение труб с фланцами и швы на деталях из листового материала:

1 — труба; 2 — фланец; n — технологический припуск.

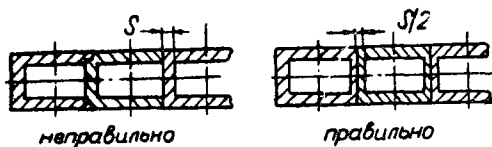


Рис. 3. Соединение труб.

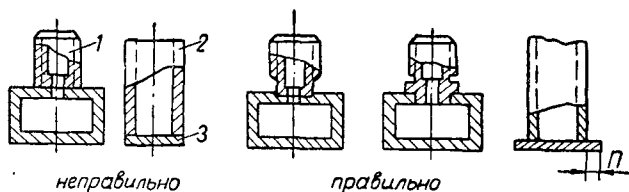


Рис. 4. Соединение втулок и пластин с трубами:

1 — втулка; 2 — труба; 3 — пластина; n — технологический припуск.

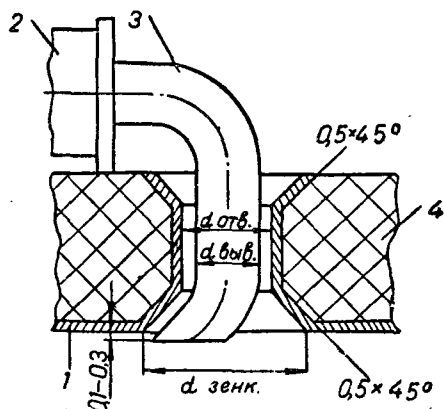


Рис. 5. Монтаж навесных деталей на плате с отверстиями с двухсторонней зенковкой:

1 — печатный проводник; 2 — корпус детали; 3 — вывод детали; 4 — плата.

Ознакомимся с этими требованиями непосредственно на примерах выполнения плат с печатными схемами.

Для плат с отверстиями с двухсторонней зенковкой и проводниками, нанесенными гальвано-химическим способом, монтаж необходимо выполнять, как показано на рис. 5.

Во всех случаях диаметр отверстий в платах под выводы деталей следует определять из соотношения:

$$d_{отв} = d_{выв} + (0,4 + 0,6) \text{ мм},$$

где:

$d_{отв}$ — диаметр отверстия;

$d_{выв}$ — диаметр вывода.

Для плат с отверстиями, имеющими зенковку со стороны навесных деталей, и печатными проводниками, нанесенными гальвано-химическим способом, монтаж должен выполняться согласно рис. 6.

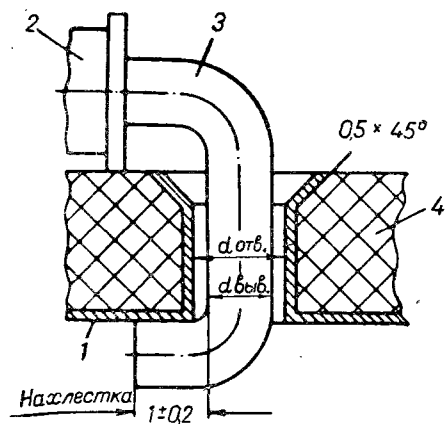


Рис. 6. Монтаж навесных деталей на плате с отверстиями с односторонней зенковкой:

1 — печатный проводник; 2 — корпус детали; 3 — вывод детали; 4 — плата.

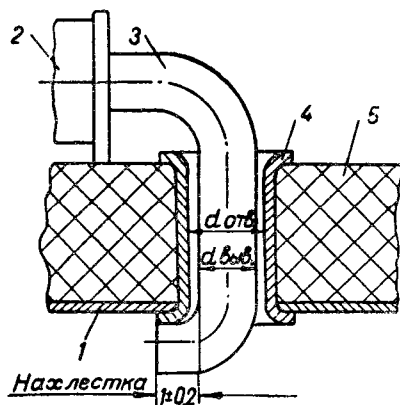


Рис. 7. Монтаж навесных деталей на платах с печатными проводниками, полученными травлением фольгированного гетинакса и с пистонами, завальцованными в отверстия:

1 — печатный проводник; 2 — корпус детали; 3 — вывод детали; 4 — пистон; 5 — плата.

В платах с печатными проводниками, полученными травлением фольгированного гетинакса, и с пистонами, завальцованными в отверстия, монтаж выполняется, как показано на рис. 7.

Во всех случаях независимо от способа монтажа концы выводов навесных деталей должны быть плотно прижаты к печатным проводникам или к зенковке отверстий.

Для плат-субпанелей, соединяемых с функциональными элементами, монтаж выполняется в соответствии с рис. 8.

Кроме этого, во всех платах необходимо предусматривать базовые отверстия для фиксации маски при наклейке ее на плату и технологические зоны по краям длинных сторон для

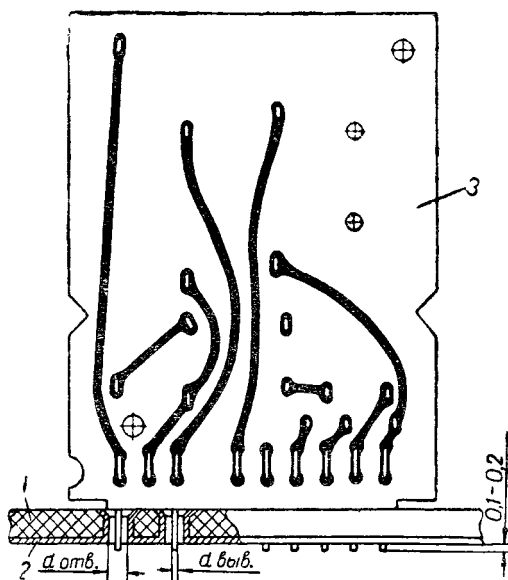


Рис. 8. Монтаж функциональных элементов на плате-субпанели:

1 — плата-субпанель; 2 — печатный проводник;
3 — функциональный элемент.

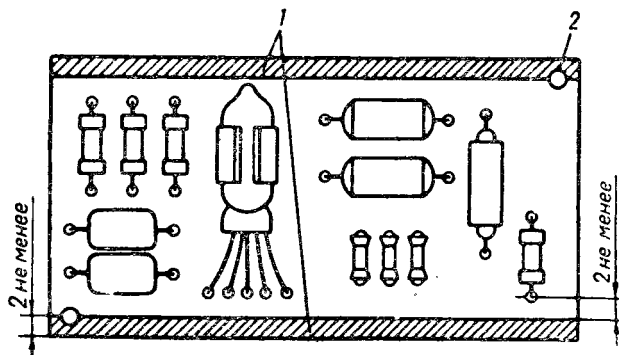


Рис. 9. Расположение технологических зон и базовых отверстий на плате:

1 — технологические зоны; 2 — базовое отверстие.

крепления платы в рамке зажимного приспособления на время пайки.

Примерное расположение базовых отверстий и технологических зон показано на рис. 9.

Диаметр базовых отверстий должен лежать в пределах 2—6 мм, а ширина технологических зон должна быть не менее 2 мм.

Размещение деталей и нанесение медного покрытия в технологических зонах не допускаются.

При проектировании плат с печатными схемами необходимо учитывать, что пайка погружением возможна только для плат с односторонним расположением навесных деталей. При двухстороннем расположении навесных деталей пайка погружением производится лишь с одной стороны, а на другой она выполняется вручную электрическим паяльником.

По условиям автоматизации технологического процесса платы с печатными схемами должны быть стандартизованы по габаритам, а расположение отверстий под выводы навесных деталей следует задавать по координатной сетке.

Глава 2

МАРКИ, СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛЮСОВ И ПРИПОЕВ

В предыдущей главе при ознакомлении с особенностями и сущностью происходящих явлений при пайке в общих чертах уже говорилось о флюсах и припоях. Роль этих материалов столь велика, что всякий прогресс в технике пайки, пожалуй, всегда связан с освоением более совершенного состава флюсов и припоев.

Дело в том, что металлы по своим физико-химическим свойствам и способности к пайке существенно отличны, причем способность металлов к пайке неразрывно связана с природой окисной пленки, образующейся на их поверхности. Поэтому один какой-либо флюс или припой, будучи очень эффективным при пайке одних металлов оказывается совершенно непригодным для пайки других металлов.

Так, например, флюсы и припои, используемые для пайки деталей из меди и ее сплавов, совершенно не эффективны для алюминиевых сплавов, а флюсы для пайки алюминия непригодны для магния и его сплавов.

В результате этого сейчас имеется очень большое количество различных составов флюсов и припоев, но они не обеспечивают пайку всего многообразия соединений металлов и сплавов, применяемых в современном приборостроении. Подтверждением этого может служить трудность пайки никрома с медью в производстве прецизионных сопротивлений. Существующая технология пайки здесь основывается на использовании оловянно-свинцовых или серебряных припоев и известных флюсов, которые эффективны лишь к меди и совершенно не воздействуют на окисную пленку никрома. Поэтому в процессе пайки на деталях из никрома окисная пленка не удаляется и он в действительности не припаивается, а заливается расплавленным припоем.

Отсутствие межкристаллической связи никрома с припоем, очевидно, и объясняет причину непостоянства переходного сопротивления и низкую прочность паяных соединений. Чтобы получить качественную пайку этих металлов, необходимо прежде всего найти флюс, который будет активно растворять окисные пленки как на меди, так и на никроме.

Переходя к детальному рассмотрению характеристик флюсов и припоев, заметим, что основное внимание будет уделяться лишь тем из них, которые освоены в технике за последние 5—10 лет и представляют значительный интерес в технологии приборостроения.

Флюсы для пайки меди и ее сплавов

В процессе нагрева деталей для пайки поверхность их и припоя под действием кислорода воздуха и температуры интенсивно окисляется. Образующая окисная пленка препятствует жидкому припою войти в контакт с чистым металлом деталей, припой не смачивает его и не затекает в зазоры.

Флюсы, используемые при пайке, предотвращают окисление металлов и очищают их поверхность от окисной пленки. Очень важно, чтобы разница в температурах плавления флюса и припоя была наибольшая. Тогда по мере нагрева сначала плавится флюс и, растекаясь на поверхности металла, прежде всего изолирует его от кислорода воздуха, прекращая дальнейшее образование окисной пленки.

Кроме этого, к моменту плавления припоя флюс растворит ранее образовавшуюся на поверхности металла окисную пленку и создаст условия для получения высококачественного паяного соединения. Это особенно важно при пайке твердыми припоями, когда соединяемые детали приходится нагревать до температуры 750—850°C.

Однако на практике до последнего времени эти условия не соблюдались. Так, при пайке стальных и латунных деталей стандартными серебряными припоями марок ПСр25, ПСр45 и ПСр70 с температурами плавления 720—780°C, обычно в качестве флюса использовалась бура, плавящаяся при 741°C. Отсутствие разницы в температурах плавления флюса и припоя в этом случае приводило к тому, что металл покрывался толстым слоем окисной пленки, затрудняющей пайку и резко снижающей ее качество.

Более того, удаление стекловидной пленки остатков буры с паяных швов представляло значительные технологические трудности. Поэтому теперь для пайки твердыми серебряными припоями деталей из меди, ее сплавов и в соединениях медных сплавов со сталью разработаны и широко применяются взамен буры более совершенные флюсы, марки и состав которых приведены в табл. 2.

Достоинства этих флюсов состоят в том, что они очень активно растворяют окисные пленки, имеют по сравнению с бурой резко пониженную температуру плавления, а остатки их легко удаляются с паяных узлов отмывкой в горячей воде или в 10-процентном водном растворе лимонной кислоты.

Таблица 2

Флюсы для пайки меди и ее сплавов со сталью

Марка флюса	Химический состав, %				Температура плавления, °C
	KBF ₄	Na ₂ B ₄ O ₇	B ₂ O ₃	KF	
Тетрафторборат калиевый	70±2	30±2	—	—	300
№ 209	23±2	—	35±2	42±2	500
№ 284	40±2	—	25±2	35±2	300

Кроме этого, флюсы № 209 и 284 весьма эффективны при пайке серебряными припоями медных сплавов с жаропрочными, а также с конструкционными и нержавеющими сталями.

Наряду с применением известных спиртово-канифольевых флюсов для пайки деталей аппаратуры мягкими оловянно-свинцовыми, оловянно-цинк-кадмиевыми или свинцово-серебряными припоями с температурами плавления от 150 до 300°C в последние годы освоен ряд новых некоррозионных флюсов.

Среди этих флюсов очень эффективными являются флюсы ЛТИ, незначительно отличающиеся по своему составу и эффективности.

Наибольшее распространение имеет флюс известный под маркой ЛТИ-120, представляющий собой спиртовой раствор канифоли с добавками триэаноламина и солянокислого диэтиламина.

Состав флюса ЛТИ-120, %:

Спирт этиловый 90—95% (ГОСТ 5962—51)	63—74
Канифоль (ГОСТ 797—41)	20—25
Диэтиламин солянокислый (ВТУ МХП 326—352)	3—5
Триэаноламин (ВТУ МХП 1931—49)	1—2

Действие этого флюса состоит в том, что при температуре пайки происходит частичное разложение хлоргидрата амина с выделением активного хлористого водорода, который весьма энергично раскисляет окисные пленки ряда металлов.

Избыток хлористого водорода, незанятый в реакции раскисления, мгновенно связывается триэаноламином, благодаря чему и предотвращается коррозия паяных соединений.

Остатки флюса легко удаляются с места пайки ветошью или тампоном ваты, смоченных в спирте или ацетоне. Правильно приготовленный флюс и его остатки после пайки должны давать нейтральную реакцию с лакмусом.

Флюс ЛТИ-120 применяется для пайки меди, ее сплавов, углеродистых и нержавеющих сталей, пермаллоя, а также никелированных, оцинкованных и серебряных деталей приборов.

Однако использование флюсов ЛТИ и других спиртово-канифольевых флюсов при пайке погружением в производстве изде-

лий с печатными схемами приводит к ряду технологических трудностей.

Хорошее качество пайки достигается лишь при условии подсушивания флюса, нанесенного на печатную плату, перед ее погружением в припой.

Отмывка остатков и продуктов разложения флюса, а также удаление бумажной маски после пайки плат связаны со значительными затратами времени.

Наконец, операция удаления смолообразных продуктов разложения флюса связана с промывкой плат в очень летучих растворителях (ацетоне или спиртово-бензиновых смесях). Поэтому для пайки плат с печатными схемами методом окунания в расплавленный припой к флюсам, помимо хороших флюсующих свойств, некоррозионности и невливания на диэлектрические свойства материала плат, предъявляются дополнительные требования:

флюсы должны обеспечить хорошее качество пайки без подсушивания их перед пайкой;

в составе флюсов не должно быть смолообразующих веществ, которые затрудняют удаление бумажных масок и увеличивают время на отмывку плат после пайки;

остатки и продукты разложения флюсов должны легко растворяться в теплой воде без применения сильно летучих растворителей.

Вот почему при пайке плат с печатными схемами в настоящее время взамен спиртово-канифольных и флюса ЛТИ-120 стали применять более технологичные флюсы, не содержащие в своем составе каниколи.

В частности, при освоении технологии пайки изделий с печатными схемами проверен и рекомендуется для промышленного использования флюс № 6 следующего состава:

салициловая кислота	4%
триэтаноламин	1,5%
спирт этиловый	остальное

Этот флюс в значительной мере удовлетворяет поставленным требованиям, о которых говорилось выше.

Неплохие результаты дает также применение коррозионного флюса:

спирт этиловый	80 г
глицерин 96%	20 г
уксусная кислота 45%	20 г
соляная кислота 20%	1,5 г

При пайке плат, изготовленных способом травления фольгированного гетинакса, удовлетворительные результаты дает не

коррозионный флюс, имеющий следующее процентное соотношение компонентов:

стеарин	30
парафин	68
триэтаноламин	2

Припой для пайки меди и ее сплавов

В производстве аппаратуры и особенно таких изделий, как волноводы из меди и ее сплавов до последнего времени широкое применение имели лишь серебряные припои (по ОСТ 2982 марок ПСр70, ПСр45 и ПСр25) с относительно высокими температурами плавления, лежащими в интервале 720—780°C. В качестве флюса использовалась бура. Однако с разработкой более совершенных и легкоплавких по сравнению с бурой новых флюсов: тетрафторбораткалиевого, № 209 и № 284 — создались все условия для перехода на припой с пониженными температурами плавления.

Снижение температуры плавления применяемых припоев увеличивает перепад температур между точками начала плавления припоя и самого металла деталей, соединяемых пайкой. В свою очередь это уменьшает опасность проплава тонкостенных латунных деталей и степень их коробления.

Поэтому наряду со стандартными припоями в последние годы получили распространение новые серебряные припои с пониженными температурами плавления, известные под марками ПСр48КН, ПСр40К, ПСр2,5 и др.

Выпуск припоев в виде слитков, зерен и листов, оговоренных ОСТ 2982, в применении к пайке ТВЧ, в соляных ваннах, в инертных и восстановительных средах, где требовалась дозированная подача припоя, создавал значительные неудобства. Даже при пайке газовыми горелками приходилось листовой припой разрезать на прутки с острыми углами и заусеницами, которые при нагреве обгорали, увеличивая потери припоев и одновременно загрязняли швы окислами.

Кроме того, поставка припоев в слитках и листах значительно усложняла для потребителей технологию изготовления дозированных заготовок припоев в виде колец и шайб, которые проще всего изготавливать из калиброванной проволоки серебряных припоев.

В недавно выпущенном взамен ОСТ 2982 новом стандарте на серебряные припои — ГОСТ 8190 — 56 нашли отражение как новые припои с пониженными температурами плавления, так и поставка припоев в виде калиброванной проволоки.

Марки, состав и температурный интервал кристаллизации ряда серебряных припоев по ГОСТ 8190 — 56, наиболее приемлемых в производстве волноводов и других изделий радиотехнической аппаратуры, представлен в табл. 3.

Таблица 3

Стандартные серебряные припой*

Марка припоя	Химический состав, %								Температура, °С	
	серебро	медь	фосфор	цинк	олово	кадмий	никель	свинец	начала плавления	полного расплавления
ПСр72	72	28	—	—	—	—	—	—	779	779
ПСр71	71	28	1	—	—	—	—	—	750	795
ПСр70	70	26	—	4	—	—	—	—	730	755
ПСр62	62	28	—	—	10	—	—	—	660	700
ПСр50Кд	50	16	—	16	—	18	—	—	635	650
ПСр45	45	30	—	25	—	—	—	—	660	725
ПСр40	40	16,7	—	17	—	26	0,3	—	595	605
ПСр25	25	40	—	35	—	—	—	—	745	775
ПСр3	3	—	—	—	—	—	—	97	300	305
ПСр2,5	2,5	—	—	—	5,5	—	—	92	295	305

Наряду с температурой плавления при выборе припоя необходимо считаться с его электросопротивлением. В табл. 4 приведены характеристики серебряных припоев по удельному весу и электросопротивлению, которые замерялись на литых образцах.

Таблица 4

Удельный вес и удельное электросопротивление серебряных припоев

Марка припоя	ПСр72	ПСр71	ПСр70	ПСр62	ПСр50Кд	ПСр45	ПСр40	ПСр25	ПСр3	ПСр2,5
Удельный вес	9,9	9,8	9,8	9,7	9,3	9,1	8,4	8,7	11,3	11
Удельное электросопротивление мком/см	2,2	4	4,2	22	7,2	9,7	9,8	6,9	20	22

Кроме полос, рассмотренные выше припой поставляются в виде проволоки с номинальными диаметрами 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3; 3,6; 4 и 5 мм.

Помимо твердых серебряных припоев, при пайке деталей из

* Допускаемые отклонения от состава см. ГОСТ 8190—56.

меди и ее сплавов при монтаже аппаратуры очень широко применяются мягкие оловянно-свинцовые припои, характеристики которых в соответствии с ГОСТ 1499 — 54 приведены в табл. 5.

Таблица 5

Мягкие оловянно-свинцовые припои

Марка припоя	Химический состав, %				Температура, °С		Удельный вес
	олово	сурьма, не более	медь, не более	свинец	начала плавления	полного расплавления	
ПОС-90	89—90	0,15	0,08	остальное	183	226	7,6
ПОС-61	59—61	0,8	0,1	.	183	190	—
ПОС-50	49—50	0,8	0,1	.	183	223	9,4
ПОС-40	39—40	2	0,1	.	183	235	9,6
ПОС-30	29—30	2	0,15	.	183	256	9,7
ПОС-18	17—18	2,5	0,15	.	183	277	10,2
ПОСС-4—6	3—4	6	0,15	.	245	265	10,7

Для пайки монтажных соединений очень выгодно применять трубчатые припои, заполненные внутри канифольевым флюсом, поставка которых предусмотрена указанным выше стандартом. Это позволяет увеличить производительность труда, повысить качество пайки и снизить расход припоев на 20—25%, а флюсов на 40—50%.

Ознакомившись с температурой плавления применяемых твердых и мягких припоев отметим, что зачастую на практике при выборе припоя совершенно не учитывается такой важный фактор, как температурный интервал кристаллизации припоя и его связь с качеством пайки, временем нагрева и расходом энергии на нагрев деталей.

Это легко показать при рассмотрении диаграмм состояния существующих мягких и твердых припоев.

Из рассмотренных ранее условий очевидно, что при использовании, например, мягких припоев системы ПОС температура нагрева деталей и припоя должна не менее чем на 50°C превышать точку начала затвердевания припоя. Этот перегрев необходим для того, чтобы исключить пайку в интервале кристаллизации припоя, когда он имеет две фазы — жидкую и твердую, а его жидкотекучесть ничтожно мала.

Очевидно, при пайке припоем ПОС-30 детали и сам припой необходимо нагревать до температуры 300°C, что на диаграмме (рис. 10) будет соответствовать точке 3. После окончания пайки и особенно с момента начала кристаллизации припоя (точка 2, соответствующая 256°C и до полного его затвердевания, точка 1

183°С) необходимо предотвращать изделие от толчков и связанных со снятием с приспособления сотрясений, ведущих к образованию трещин и снижению прочности паяного соединения.

При использовании ПОС-40, начало затвердевания которого наступает при 235°С (точка 2'), а полное затвердевание при 183°С, интервал кристаллизации сужается и температура нагрева под пайку уменьшается до 285°С (точка 3'), но опасность появления трещин от смещения и сотрясения паяного соединения не снимается.

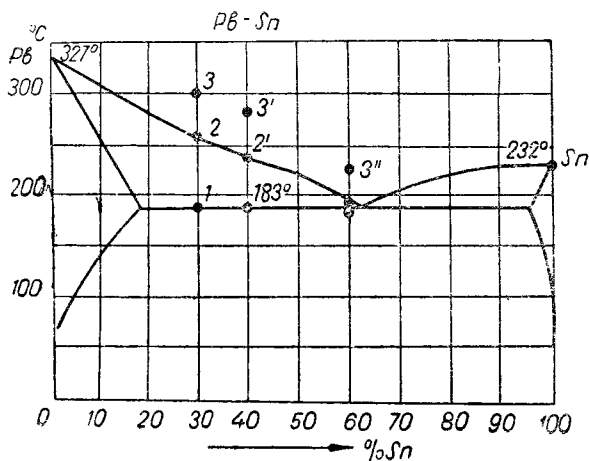


Рис. 10. Диаграмма состояния системы олово-свинец.

Существенное отличие можно наблюдать лишь у припоев эвтектического состава или близких к нему. Для рассматриваемой системы таким припоем является ПОС-61, у которого точки начала и конца затвердевания очень близки, температурный интервал кристаллизации почти отсутствует и это создает ряд технологических преимуществ.

Исключается возможность пайки в интервале кристаллизации припоя, а температура нагрева под пайку по сравнению со всеми другими припоями этой системы будет самой низкой (точка 3'').

При остывании паяных изделий припой почти мгновенно переходит в твердую фазу и опасность в появлении трещин от сотрясений исключается. Более того скорость смачивания и заполнения зазоров припоем, а также степень капиллярного подъема больше при эвтектическом составе припоя, чем при любом другом.

В конечном итоге все это способствует не только снижению температуры пайки, но и сокращению энергетических затрат, времени на нагрев под пайку, а также на выдержку при остывании изделий до полного затвердевания припоя.

Поэтому такие, не указанные в табл. 3, твердые припой, как ПСр44 с температурой начала плавления 650°C , полного расплавления 800°C и ПСр15 с соответствующими температурами 635°C и 810°C , хотя и оговорены в ГОСТ 8190 — 56, не могут считаться приемлемыми с точки зрения только что рассмотренных положений.

Оканчивая рассмотрение твердых и мягких припоев для пайки деталей на основе меди и в соединении их с другими металлами, скажем несколько слов о легкоплавких сплавах и припоях, без которых в ряде случаев нельзя обойтись.

Как правило, получение легкоплавких припоев связано с применением висмута, отличающегося высоким значением удельного электросопротивления. Если для олова оно равно 11,5, а для свинца 18,8, то у висмута электросопротивление составляет 110,8, и при выборе припоя этого нельзя забывать.

Чаще всего в приборостроении используют следующие легкоплавкие припои и сплавы, указанные в табл. 6.

Таблица 6

Легкоплавкие припои и сплавы

Наименование сплава	Химический состав, %				Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$
	висмут	свинец	кадмий	олово	
ПОК-56	—	—	44	56	176—198
Эвтектический сплав	—	—	32	68	176
ПОСК-50	—	32	18	50	145
ПОСК-47	—	36	17	47	142
Тройной сплав . . .	30,8	38,4	—	30,8	130
Эвтектический сплав	55,5	44,5	—	—	124
Ві-припой	40	40	—	20	113
Ві-сплав	50	40	—	10	100
Эвтектический сплав	52,5	32	—	15,5	96
Четверная эвтектика	49,5	27,27	10,1	13,13	70
Сплав Вуда	50	25	12,5	12,5	68

Анализ припоев, приведенных в табл. 3, 5 и 6, указывает на полное отсутствие припоев с температурами плавления в интервале $300\text{—}600^{\circ}\text{C}$.

Для пайки меди и ее сплавов вопрос о припоях с температурой плавления именно в этом интервале поставлен сейчас очень остро. Это вытекает из предъявляемых требований к теплостойкости ряда изделий.

Если для изделий, работающих при температурах до $+ 200^{\circ}\text{C}$, требования теплостойкости удовлетворяет пайка припоями ПСр2,5 или ПСр3, то для изделий с теплостойкостью $+ 300^{\circ}\text{C}$ пайка этими припоями уже совершенно непригодна. Остается переход к припоям ПСр40 или ПСр50Кд с температурами плавления выше 600°C , но это не всегда возможно, так как электроизоляционные материалы паяемых деталей рассчитаны на температуру 350— 400°C . Более того, применение припоя ПСр40 исключает работу обычными электропаяльниками и требует мощных источников нагрева.

Флюсы для пайки алюминия

Алюминий и его сплавы относятся к группе металлов, трудно поддающихся пайке. Основным препятствием при пайке алюминия является окисная пленка Al_2O_3 , которую невозможно растворить или восстановить обычными флюсами, применяемыми в технике пайки меди, ее сплавов или стали.

В естественных атмосферных условиях всякое механическое удаление окисной пленки с алюминия сопровождается повторным возникновением ее, а с повышением температуры пленка образуется мгновенно и надежно защищает глубже лежащий металл от дальнейшего окисления.

Поэтому при пайке алюминия первоочередной задачей является изыскание эффективных способов удаления окисной пленки с поверхности металла. Известен способ, основанный на ее механическом разрушении: пленку соскабливают с поверхности металла непосредственно под слоем расплавленного припоя при помощи обычного напильника, щетки из стальной проволоки, шпателя или абразива.

Недостаток этого способа заключается в том, что он не только трудоемок, но и не обеспечивает надежного сплошного облуживания, так как контакт жидкого припоя с алюминием происходит только по царапинам, сделанным острием инструмента, с помощью которого производилось соскабливание пленки.

Пайка алюминия с применением этого способа осуществляется припоями с температурой плавления не выше 300°C и широкого распространения не получила.

Другой, более совершенный способ основан на химическом растворении пленки с помощью специального флюса, известного под маркой 34А (ТУ 3930 — 53 МХП). Температура плавления и активного действия флюса лежит выше 420°C , а в его состав входят хлористые и фтористые соли металлов.

К недостаткам флюса относятся сравнительно высокая температура плавления и чрезвычайно большая коррозионная активность. Это позволяло использовать его лишь для пайки тугоплавкими припоями с последующей тщательной отмывкой в проточной воде паяных швов от остатков флюса.

По этим причинам при пайке радиотехнической аппаратуры, где промывка изделий в воде не допускается, флюс 34А использовать было нельзя.

Для того чтобы алюминий и его сплавы могли серьезно конкурировать с медью, потребовалось решить комплекс вопросов, связанных с технологией пайки. По аналогии с пайкой меди для пайки алюминия разработаны не только флюсы с пониженной температурой активного действия, но и соответствующие твердые и мягкие припои.

В последнее время наряду с флюсом 34А при пайке алюминия, его сплавов и в соединении с другими металлами используются флюсы Ф380А, № 17, Ф370А и Ф220А *, каждый из которых имеет ряд достоинств при одном общем недостатке, заключающемся в их коррозионной активности. По сравнению с 34А новые флюсы отличаются более низкой температурой плавления и активного действия, а это позволяет снизить температуру пайки и опасность проплава тонкостенных деталей.

Наконец, здесь создаются условия для замены известных припоев марок 34А и 35А с относительно высокими температурами плавления (525—560°С) более легкоплавкими, характеристики которых будут рассмотрены ниже.

Состав и температура плавления флюсов, применяемых в современном приборостроении для пайки алюминия и его сплавов при нагреве ТВЧ, электроконтактном и в пламени бензино-воздушных горелок, приведен в табл. 7.

Таблица 7

Марки и состав флюсов для пайки алюминия твердыми припоями

Марка флюса	Химический состав, %								Температура, плавления, °С
	KCl	LiCl	NaF	ZnCl ₂	CdCl ₂	NH ₄ Cl	эвтектика KF·AlF ₃	смесь фторидов	
34А	50	32	10	8	—	—	—	—	420
Ф380А	47	38	5	10	—	—	—	—	380
№ 17	51	41	—	—	—	—	8	—	380
Ф370А	47	38	5	—	10	—	—	—	370
Ф220А	—	—	—	90	—	8	—	2±0,1	220

Эвтектическое соединение KF·AlF₃, входящее в флюс № 17, состоит из 46% KF и 54% AlF₃, а смесь фторидов для флюса Ф220А содержит 29% LiF, 59% KF и 12% NaF.

* Новые флюсы предложены М. А. Нестеровой и автором. Авторское свидетельство № 113945.

Отсутствие хлористого цинка в флюсах Ф370А и № 17 обеспечивает получение светлых паяных швов и делает флюсы менее гигроскопичными, что упрощает их применение и хранение. Кроме того, флюс № 17 является универсальным: он высокоэффективен при всех способах нагрева (в пламени бензовоздушных горелок, с нагревом ТВЧ, в печах, а также с электроконтактным нагревом) и обеспечивает высокое качество пайки окунанием алюминиевых деталей в ванну с расплавом этого флюса.

В отличие от всех остальных флюсов марки Ф370А с применением припоя П300А дает возможность производить пайку деталей не только из алюминия и его сплавов, но и в соединении их с медью, латунью, бронзой, углеродистыми и нержавеющей стали.

То же самое можно сказать о флюсе Ф220А, но здесь следует учитывать, что активное действие флюса весьма кратковременно, поэтому его использование требует от исполнителя значительного опыта.

Рассмотренная группа флюсов значительно расширила возможности пайки деталей из алюминия, его сплавов и в соединении их с другими металлами. Но все это относилось лишь к пайке твердыми припоями, причем таких узлов, которые после пайки допускают отмычку остатков флюсов в воде.

Решение вопросов, связанных с пайкой алюминия мягкими припоями применительно к монтажным соединениям, где коррозионные флюсы применять нельзя, шло по двум направлениям: во-первых, по линии изыскания некоррозионных флюсов и, во-вторых, по пути бесфлюсовой пайки с применением ультразвука.

Успешные результаты этих работ дали возможность полностью преодолеть имевшиеся трудности в пайке алюминия.

Для пайки монтажных соединений мягкими припоями разработаны * и нашли промышленное использование в приборостроении некоррозионные флюсы, марки и состав которых приведен в табл. 8.

Таблица 8

Некоррозионные флюсы для пайки алюминия

Марка флюса	Химический состав, %				Примечание
	$\text{Cd}(\text{BF}_4)_2$	$\text{Zn}(\text{BF}_4)_2$	NH_4BF_4	$\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_3$	
Ф54А	10	—	8	остальное	Флюс Ф59А наиболее эффективный при пайке алюминия с АМц
Ф59А	10	2,5	5	•	
Ф61А	—	10	8	4	

Как видно из таблицы, основой флюсов является органический amino-спирт-триэтаноламин, в который введены в качестве

* Флюсы разработаны Л. В. Ивановой, М. А. Нестеровой и автором. Авторское свидетельство № 113764.

активных добавок фторбораты тяжелых металлов и аммония. В процессе пайки триэтаноламин и фторборат аммония частично подтраивают окисную пленку алюминия, а фторбораты тяжелых металлов нацело разлагаются с выделением на поверхности алюминия, кадмия, цинка и трехфтористого бора.

Трехфтористый бор-газ, выделяющийся при разложении флюсов защищает поверхность алюминия от окисляющего действия кислорода воздуха. Остатки триэтанолamina в процессе нагрева переходят в инертное вещество смолообразного вида, которое не вызывает коррозии основного металла и припоя. Следовательно, после нагрева и разложения флюсов в них не остается веществ, могущих вызвать коррозию.

Эти флюсы и их остатки после пайки имеют рН около 8, что говорит об их бескислотности.

По своим флюсующим свойствам при пайке деталей только из алюминия, исключая его сплавы, эти флюсы не имеют существенной разницы, но при пайке алюминия с АМц, медью, ее сплавами и рядом других металлов наиболее эффективным является флюс марки Ф59А.

Поэтому несмотря на то, что по химическому составу флюс Ф59А относится к наиболее сложному, он выгодно отличается от двух других своей активностью при пайке алюминия с другими металлами.

Температурный интервал активного действия этих флюсов находится в пределах 150—320° С. При более высоких температурах флюсы обугливаются и теряют эффективность.

Флюс Ф59А обеспечивает пайку алюминия всех марок, АМц и других сплавов, плакированных алюминием как между собой, так и в соединении со сталью, бериллиевой бронзой, медью и ее сплавами. Пайка производится припоями П300А, П250А, П200А, П170А или П150А с применением обычных электропаяльников, нагрева ТВЧ, электроконтактного, окунанием в расплавленный припой, а также другими способами, кроме нагрева открытым пламенем.

Остатки флюсов после пайки не вызывают коррозии и при необходимости легко удаляются спиртом или водой.

Наличие некоррозионных флюсов открывает перед конструкторами принципиально новые и широкие возможности для использования алюминия в качестве конструкционного материала.

О прочности соединений алюминиевой фольги в виде полос шириной 8 мм с медными проводами, запаиваемых с применением флюса Ф59А, можно судить по данным табл. 9.

К недостаткам рассмотренных флюсов следует отнести, прежде всего, то, что они непригодны для пайки деформируемых алюминиевых сплавов АМг, АМк, Д1, Д16, В95, а также литейных сплавов. Кроме этого, некоррозионные флюсы не обеспечивают пайку алюминиевых деталей при соединении внахлестку. Вероятно, это можно объяснить обильным выделением газов при

разложении флюса, которые создают повышенное давление между соединяемыми поверхностями и препятствуют затеканию припоя в зазоры.

Т а б л и ц а 9

Прочность соединений, паянных с применением флюса Ф59А

Толщина фольги, мм	0,2		0,09		0,05		0,014	0,005
Сечение провода, мм ²	0,35	0,5	0,2	0,35	0,05	0,2	0,05	0,05
Марка припоя	Разрывное усилие, кг							
П300А	9*	—	3,5	—	1,5*	—	0,45	0,3
П250А	—	11	—	3,5	—	2	0,4	0,5

В таких случаях флюсы используются лишь для предварительного облуживания поверхностей на отдельных деталях, а пайка их в сборе производится с флюсом ЛТИ-120.

Твердые и мягкие припои для пайки алюминия

С применением алюминия и его сплавов для изготовления таких сложных изделий, как антенные устройства, высокочастотные головки и волноводные системы, появилась необходимость в так называемой ступенчатой пайке, которая невыполнима одним каким-либо припоем.

При ступенчатой пайке соединение деталей в сложных узлах с лежащими рядом швами производится последовательно несколькими припоями с понижающимися температурами плавления.

Для предупреждения расплавления ранее запаянных швов и сохранения точности сборки деталей минимально допустимый перепад в температурах плавления предыдущего и последующего припоев при ступенчатой пайке должен составлять не менее 50°С.

Поэтому в технологии пайки алюминиевых узлов наряду с известным припоем марки 34А нашли применение твердые припои, характеристики которых даны в табл. 10.

Длительные испытания паяных соединений, выполненных с применением новых припоев, которые проводились в естественной и тропической атмосферах, показали удовлетворительную коррозионную стойкость и опровергли ошибочное мнение об опасности быстрой коррозии припоев с цинком и кадмием.

Однако для эксплуатации в условиях тропической атмосферы алюминий, его сплавы и паяные соединения на этих материалах

* Разрушение произошло по проводу, а для всех остальных образцов по фольге.

Марки и состав твердых припоев для пайки алюминия

Марка припоя	Химический состав, %						Температура плавления °С	Примечание
	Al	Cu	Si	Zn	Mn	Cd		
П590А	89	10	1	—	—	—	590	Допускается отклонение от химического состава для Al, Cu, Si, Cd и $Zn \pm 1\%$ для $Mn \pm 0,1\%$
П575А	80	—	—	20	—	—	575	
П550А	65,5	27	6	—	1,5	—	550	
34А	66	28	6	—	—	—	525	
П480А	20	15	—	64,4	0,6	—	480	
П425А	20	15	—	65	—	—	425	
П300А	—	—	—	60	—	40	300	

рекомендуется защищать от коррозии соответствующими лакокрасочными покрытиями.

В отличие от остальных припоев П590А и П575А образуют швы, галтели которых наравне с основным металлом деталей принимают фосфатное оксидирование или обычное анодирование вплоть до имитации золочения, обеспечивая хороший декоративный вид изделия.

При пайке деталей из алюминия и его сплавов вопросы выбора припоев и флюсов необходимо решать строго с учетом температуры начала плавления и структурных изменений в материале деталей, происходящих вследствие нагрева.

Для пайки деталей из дуралюминия и сплава В95 нельзя применять припоев П590А, П575А, П550А и 34А, температуры плавления которых соответственно равны 590, 575, 550 и 525°С, ибо нагрев этих сплавов свыше 510°С вызывает пережог материала.

Следует считаться еще с тем, что для хорошего растекания припоев их нужно нагревать на 20—30°С выше температуры плавления, что увеличивает степень отжига и опасность пережога материала деталей.

Выбор припоев и флюсов для пайки деталей из алюминиевых сплавов различных марок, а также в соединении их с другими металлами следует производить, руководствуясь данными табл. 11.

В технике пайки алюминия до последнего времени считалось, что швы, полученные при пайке мягкими припоями с оловом, цинком или кадмием, отличаются низкой коррозионной стойкостью и малой механической прочностью.

В связи с этим при разработке технологии ультразвуковой пайки алюминия мягкими припоями вопросам выбора состава припоев и изучению их коррозионной стойкости уделялось серьезное внимание.

Выбор припоев и флюсов для пайки алюминия и его сплавов

№ группы	Марка материала деталей, соединяемых пайкой	Пайка с применением флюсов		Ультразвуковая пайка
		марка припоя	марка флюса	марка припоя
1	Алюминий и его сплавы АМц, АМг и АМк	П590А, П575А, П550А, 34А, П480А, П425А, П300А	34А, 17, Ф380А, Ф370А	П300А, П250А, П200А, П170А, П150А
2	Сплавы Д1, Д16, Д20, В95, АЛ2, АЛ9 и АЛ11 между собой и с материалами 1-й группы	П480А, П425А, П300А	То же	То же
3	Медь и ее сплавы с материалами 1-й и 2-й групп	П300А	Ф370А, Ф220А	То же
4	Алюминий с медью и ее сплавами применительно к монтажным соединениям	П300А, П250А, П200А, П170А, П150А	Ф59А	То же

Результаты сравнительных испытаний большого количества образцов, паяных различными мягкими припоями, позволяют утверждать, что для припоев системы олово-цинк-кадмий коррозионная стойкость паяных соединений на алюминии и его сплавах значительно выше, чем это считалось ранее.

Испытание мягких припоев типа ПОС и других, в состав которых не входил цинк и кадмий, показало, что растекание и смачивание по сравнению с припоями, содержащими эти металлы, резко ухудшаются, скорость облуживания снижается в 2—3 раза, а поверхность алюминия не имеет следов разрушения в виде мельчайших лунок, характерных для припоев с содержанием цинка и кадмия.

Поэтому в настоящее время при ультразвуковом лужении и пайке алюминия и его сплавов наибольшее распространение получили олово-цинк-кадмиевые припой, марки и состав которых представлены в табл. 12.

Наличие ряда марок припоев с различными температурами плавления позволяет осуществлять пайку сложных узлов при последовательном соединении деталей припоями с понижающейся температурой плавления — ступенчатая пайка.

Средние значения предела прочности для паяных швов в зависимости от марок припоя и основного металла приведены в табл. 13.

Таблица 12

Припой для лужения и пайки с применением
ультразвука

Марка припоя	Температура плавления °С	Химический состав, %				Примечание
		Sn	Zn	Cd	Ag	
П300А	300	—	60	40	—	Отклонение от химического состава отдельных компонентов не должно превышать $\pm 1\%$, а для серебра $\pm 0,1\%$
П250А	250	80	20	—	—	
П200А	200	90	10	—	—	
П170А	170	79	—	20	1	
П150А	150	38,5	3,8	57,7	—	

Таблица 13

Прочность швов при пайке мягкими припоями

Марка припоя	При срезе (пайка внахлестку) $\sigma_{ср}$ кг/мм ²				При растяжении (пайка в стык) σ_B кг/мм ²			
	пайка с применением ультразвука		обычная пайка с флюсами*		пайка с применением ультразвука		обычная пайка с флюсами*	
	алюминий	алюминий с В95	латунь	медь	алюминий	алюминий с 895	латунь	медь
П300А	5,3	5,0	—	—	4,8	6,7	—	—
П250А	5,8	4,5	—	—	5,5	5,6	—	—
П200А	6,4	5,0	—	—	4,0	5,6	—	—
П170А	6	—	—	—	5,8	—	—	—
П150А	3,7	4,5	—	—	4,3	5,2	—	—
Оловочистое	—	—	4,5	4,6	—	—	5,9	9,0
ПОС40	—	—	4,6	3,7	—	—	8,0	7,8
ПОС30	—	—	2,8	2,7	—	—	8,8	9,1
ПОС18	—	—	3,3	3,1	—	—	9,7	9,0

Использование припоев марок П300А, П250А, П200А, П170А и П150А показало, что они наряду с ультразвуковой пайкой могут успешно применяться для пайки алюминия с медью и ее сплавами с применением обычных электрических паяльников и флюса Ф59А.

Более того, припой П250А и П200А находят применение в качестве антикоррозионных гальванических покрытий на деталях из цветных и черных металлов.

* Предел прочности швов для припоев ПОС взят из Энциклопедического справочника «Машиностроение», 1947, том 4.

Результаты длительных испытаний незащищенных паяных образцов в камере с повышенной относительной влажностью, а также двухлетние испытания в естественной атмосфере позволяют утверждать, что швы, паяные этими припоями, удовлетворяют требованиям, обычно предъявляемым к радиотехническим изделиям.

Оканчивая знакомство с твердыми и мягкими припоями для пайки алюминия, рассмотрим их характеристики по удельному весу и электрическому сопротивлению, значения которых сведены в табл. 14.

Таблица 14

Удельный вес и удельное электрическое сопротивление припоев для пайки алюминия

Марка припоя	П590А	П575А	П550А	П480А	П425А	П300А	П250А	П200А	П170А	П150А
Удельный вес .	2,89	3,08	3,41	5,69	5,7	7,73	7,3	7,32	7,62	8,04
Удельное электрическое сопротивление ом мм ² /м . .	0,051	0,051	0,079	0,081	0,081	0,067	0,106	0,11	0,13	0,092

Флюсы для пайки магниевых сплавов

Если для алюминиевых сплавов основным препятствием при пайке служила лишь окисная пленка, то при пайке магниевых сплавов, наряду с быстрообразующейся тугоплавкой пленкой окиси магния, которую не растворяет ни один из рассмотренных ранее флюсов, возникает еще одно серьезное затруднение. Суть его в том, что при нагреве до 300°С магний получает способность вступать в химическую реакцию с азотом, имеющимся в воздухе, образуя нитрид магния Mg₃N₂.

Соединяясь с влагой нитрид магния образует гидроокись магния Mg(OH)₂, которая является значительным препятствием для пайки металла.

Флюсы для пайки магниевых сплавов должны обеспечивать быстрое растворение окисной пленки магния на поверхности деталей и превращать ее в шлак, удельный вес которого должен быть меньше удельного веса расплавленного припоя.

Известно, что наилучшее растворение окиси магния происходит в расплавах, содержащих соли натрия, алюминия или криолит.

При температуре 500°С в расплаве эвтектики KCl—LiCl с содержанием в качестве испытуемого растворителя 10% NaF растворяется 0,48% MgO. Если взамен NaF в тот же расплав ввести 10% AlF₃, то растворение MgO составляет 0,2—0,3%, а в криолите растворяется 0,15—0,2% MgO.

Поэтому основу флюсов для пайки магниевых сплавов (табл. 15) составляют эвтектические соединения $KCl - NaCl - LiCl$, где в качестве активных растворителей окисной пленки магния служат добавки фтористых солей натрия, алюминия и калия.

Таблица 15

**Состав флюсов для пайки деформируемых
магниевых сплавов**

Номер или марка флюса	Темпера- тура плавления, °C	Химический состав, %						
		KCl	NaCl	LiCl	SrCl ₂	Na ₃ AlF ₆	KF	NaF
8	435	35	35	20	5	—	5	—
12	380	31,5	9	49,5	—	2	—	8
Ф380Мг	380	42,5	10	37	—	0,5	—	10

Сравнительные данные этих флюсов говорят о том, что флюс Ф380Мг обладает относительно высокой текучестью и активностью, обеспечивая повсеместное затекание припоев в зазоры.

Флюс № 12 также дает хорошие результаты, но он дороже так как содержит сравнительно большое количество хлористого лития.

Флюс № 8 отличается повышенной температурой плавления, что снижает область его применения [11].

Все эти флюсы очень гигроскопичны и их необходимо хранить в сухом месте в закрытой посуде с притертыми пробками.

Припой для пайки магниевых сплавов

По сравнению с алюминием трудности пайки магния состоят не только в более активном окислении и образовании окисной пленки, а главное в том, что в состав большинства магниевых сплавов входят низкотемпературные эвтектики системы $Mg - Al$, $Mg - Zn$ и $Al - Zn$.

В процессе нагрева эти эвтектики уже при температурах 340—360°С начинают выплавляться и, вступая во взаимодействие с компонентами припоя, вызывают интенсивное растворение основного металла на значительную глубину. Проверить это легко на следующих опытах.

При нагреве двух образцов, поставленных в стык, из которых один из магниевых сплавов марки МА2, а второй из алюминия А00, уже при температуре порядка 380°С происходит пайка без применения каких-либо припоев и флюсов.

Пайка без применения припоев и флюсов легко достигается также при нагреве стыка образцов из магниевых сплавов при сочетании МА2 с МА2, МА1 с МА2, МА8 с МА2. Характерно, что такие швы не имеют практической ценности, ибо при незначи-

тельной ударной нагрузке они сразу же разрушаются. Разрушение их происходит не по самому шву, а на 1—2 мм отступя от поверхности раздела металлов в глубину того сплава, из которого выплавляются низкотемпературные эвтектики.

Чрезвычайно большая хрупкость этих швов связана с образованием интерметаллических соединений, наиболее хрупкими из которых является Mg_4Al_3 .

Известно [19], что растворимость алюминия в твердом магнии при комнатной температуре составляет 6%, а при эвтектической равной $436^\circ C$, — до 12,6%.

Микроструктура сплава магния с содержанием более 3% Al состоит из зерен твердого раствора, окруженных выделениями интерметаллического соединения Mg_4Al_3 , количество которого увеличивается по мере повышения содержания алюминия.

При 15% алюминия в магнии сетка выделения интерметаллита по границам зерен становится замкнутой, что приводит к повышенной хрупкости сплава. При меньшем содержании алюминия в магнии соединение Mg_4Al_3 не образует замкнутой сетки и структура сплава представляет однородный твердый раствор.

Наличие в сплаве интерметаллического соединения нежелательно, так как ухудшаются не только технологические свойства, но и коррозионная стойкость сплава.

При выборе состава припоев необходимо также учитывать допустимые и недопустимые контакты.

Допустимыми контактами для магниевых сплавов являются цинк, кадмий, олово или детали из других сплавов, покрытые этими металлами.

Недопустимыми — со сталями; незащищенным алюминием и его сплавами; медью и ее сплавами; никелем; со свинцом.

По литературным источникам [11, 8], для пайки магниевых сплавов используются твердые припои, состав которых приведен в табл. 16.

Т а б л и ц а 16

Известные припои для пайки магниевых сплавов

№ припоя или марка	Температура плавления, $^\circ C$	Химический состав, %					
		Al	Zn	Mn	Cd	Cu	Mg
AZ92	597	9	2				Остальное
AZ125	574	12	5				
№ 1	435	25—27	1—1,5	0,1—0,3			
№ 2	415	21—22	0,2—0,5	0,1—0,3	25—26		
—	400	—	—	—	5—15	25—35	

Перечисленные в этой таблице припои при испытании на растекание, механическую прочность паяного шва, металлографические исследования его структуры, а также способности припоев

к оксидированию, в целях защиты от коррозии, дали следующие результаты:

Припой AZ92 с температурой плавления 597°C и AZ125 с температурой плавления 574°C вследствие высоких температур плавления пригодны лишь для пайки Mg и MA1, которые отличаются высокими температурами начала плавления и не содержат в своем составе легкоплавких эвтектик. Небольшой интервал в температурах между началом плавления припоев и основным материалом требует высокой квалификации оператора и не исключает проплава и загорания металла в процессе нагрева и пайки.

Глубина диффузии припоев в основной металл достигает 1—1,5 мм, в то время как нормальной принято считать глубину диффузии, не превышающую 0,15—0,2 мм. Паяные швы этими припоями наравне с основным металлом (Mg, MA1) принимают оксидирование, обеспечивая хороший декоративный вид паяных узлов и надежную защиту от коррозии.

Припой нельзя применять для пайки тонкостенных (тоньше 1—1,5 мм) деталей из Mg и MA1 и, кроме этого, они совершенно непригодны для пайки других марок деформируемых магниевых сплавов, ибо, как известно, они имеют в своем составе легкоплавкие эвтектики, о которых говорилось выше и точка плавления их ниже чем у припоев.

Припой № 1 и № 2 с повышенным содержанием алюминия обеспечивают пайку, вернее «заливку», раковин в толстостенных отливках, даже без применения флюсов.

В основе пайки этими припоями лежат рассмотренные выше явления выплавления легкоплавких эвтектик из основного металла с образованием интерметаллического соединения Mg_4Al_3 .

Рассмотрение микрошлифов показывает, что диффузия припоев в толщу основного металла достигает 2—3 мм, а сетка интерметаллита Mg_4Al_3 по границам зерен становится замкнутой, в результате чего швы приобретают хрупкость.

При пайке деталей из MA2 MA3, MA5 и др. с толщиной стенок менее 3 мм происходит сквозное проникновение припоев, вызывая искажение чистоты поверхности и конструктивных элементов деталей.

Поэтому припой № 1 и № 2 нельзя использовать собственно для пайки ряда деталей из деформируемых магниевых сплавов, хотя швы хорошо принимают оксидирование.

Наконец, припой с кадмием, медью и магнием при испытании на текучесть и смачиваемость показал самые низкие результаты. Пайка этим припоем происходит при его нагреве на $130\text{—}150^{\circ}\text{C}$ выше точки плавления и сопровождается разъемлением основного металла на глубину 3—4 мм.

Швы, паянные этим припоем, не принимают оксидирования и благодаря наличию в припое значительного количества меди отличаются низкой коррозионной стойкостью.

Для пайки деталей из деформируемых магниевых сплавов в производстве электрорадиоаппаратуры припой оказался не-пригодным.

Разработка состава припоев для пайки деформируемых сплавов МА1, МА2, МА5, МА8 производилась с учетом следующих требований:

температура плавления припоя должна лежать ниже температуры конца кристаллизации, подвергаемых пайке металлов. Это предотвращает выплавление легкоплавких эвтектик и уменьшает опасность загорания основного металла деталей;

припой должен иметь достаточную жидкотекучесть и способность растворять твердый основной металл деталей с обеспечением глубины диффузии не более 0,2 мм;

припой должен обладать достаточной пластичностью и содержать в своем составе только такие элементы, контакты которых с магнием допустимы;

коррозионная стойкость припоя не должна уступать стойкости основного металла, а для надежной защиты паяных швов припой должен хорошо оксидироваться.

В результате тщательного анализа диаграмм состояния двойных и тройных сплавов магния с другими металлами разработаны, всесторонне проверены и рекомендуются к промышленному освоению припои марок ПЗ80Мг, П430Мг, которые в большей мере отвечают всем требованиям, чем припои, предложенные ранее.

Химический состав новых припоев и прочностные характеристики паяных швов приведены в табл. 17 и 18.

Таблица 17
Рекомендуемые припои для пайки магния

Марка припоя	Температура плавления, °С	Предел прочности, σ_B кг/мм ²	Химический состав, %		
			Al	Zn	Mg
П430Мг	430	13—15	0,75—1,0	13—15	Остальное
ПЗ80Мг	380	10—12	2,0—2,5	23—25	Остальное

Таблица 18
Механические свойства швов при пайке в стык

Марка материала	Марка припоя	Предел прочности паяного шва σ_B кг. мм ²
МА1	П430Мг	10,8
	ПЗ80Мг	8,5
МА8	П430Мг	9,6
	ПЗ80Мг	9,5
МА2	ПЗ80Мг	8,0

Микроструктура припоев состоит из твердого раствора алюминия и цинка в магнии и эвтектики (твердого раствора $+ \text{MgZn}$).

Таблица 19

Выбор припоев для пайки магниевых сплавов

Марка материала	Температура конца кристаллизации, °C	Минимальная температура плавления, °C	Марка припоя
МГ . . .	651	651	} П430Мг П380Мг
МА1 . . .	645	645	
МА2 . . .	565	530	
МА8 . . .	645	645	
МА3 . . .	510	415	} П380Мг
МА5 . . .	482	425	
МЛ5 . . .	445	423	

Припой П380Мг и П430Мг, рекомендуемые для пайки магния и его сплавов, следует выбирать с учетом температурного интервала кристаллизации отдельных сплавов и припоев, руководствуясь указаниями табл. 19.

Прочностные испытания образцов из различных магниевых сплавов, паянных припоями П380Мг и П430Мг, показали, что разрушение нахлесточных соединений происходит не по шву, а по основному металлу в переходной зоне. Кроме этого, пайка и связанный с нею нагрев приводят к значительным потерям прочности, которая снижается у сплава МА1 до 50 %, а у других магниевых сплавов от 10 до 30 %.

Следует напомнить, что при сварке магниевых сплавов потери механической прочности еще более высокие. Поэтому при конструировании сварных и паяных узлов необходимо обязательно учитывать фактор снижения прочности основного металла.

Длительные испытания паяных швов в естественной атмосфере на протяжении двух лет и в камере влажности в течение 40 суток дали положительные результаты.

У всех образцов, где остатки флюсов сразу же после пайки были тщательно удалены, очагов коррозии на паяных швах не обнаружено. Паяные швы с наличием остатков флюса подвергались интенсивной коррозии и разрушались во влажной камере до окончания срока испытаний.

В процессе длительных коррозионных испытаний паяных соединений проводились также замеры переходного сопротивления, изменение которого составило всего 2—7 мком.

Рекомендуемые припои для пайки магниевых сплавов не уступают основному металлу в способности к оксидированию по общепринятой технологии, благодаря чему швы приобретают хороший декоративный вид и дополнительную защиту от коррозии.

Глава 3

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФЛЮСОВ И ПРИПОЕВ

Большинство марок флюсов и припоев, рассмотренных выше, еще не выпускается централизованно и, как правило, производится самими потребителями. Учитывая, что качество пайки в сильной степени зависит от наличия и качества используемых припоев и флюсов, вопросам технологии их приготовления должно уделяться самое серьезное внимание. Действительно, зная марку и химический состав какого-либо флюса или припоя, но не располагая данными о технологических тонкостях его приготовления, зачастую очень трудно избежать ошибок и обеспечить надлежащее качество.

Поэтому поставим целью для каждого из ранее рассмотренных флюсов и припоев, исключая стандартные и наиболее широко известные из них, раскрыть технологию приготовления с учетом предъявляемых требований к исходным материалам, оборудованию и оснастке.

Приготовление тетрафторбораткалиевого флюса и флюсов № 209 и 284

Заметим, что в настоящее время ленинградским заводом «Красный химик» уже освоен промышленный выпуск флюса № 209 (ВТУ РУ 1180 — 55), остальные же флюсы приходится изготавливать на месте.

Технология приготовления флюсов несложна и доступна каждой химической лаборатории.

Для приготовления флюсов используются следующие стандартные материалы:

калий фторборат	ВТУ-У-375-51;
бура	ГОСТ 4199 — 48;
борный ангидрид	ВТУ МХП 2921 — 51;
калий фтористый	ГОСТ 4552 — 48

Приготовление флюсов начинают с обезвоживания отдельных компонентов.

Для обезвоживания буры ее помещают в фарфоровую чашку или противень из нержавеющей стали и сушат в термостате при 150—200° С в течение 1—1,5 час. Затем буру, не охлаждая, растирают в порошок и дополнительно сушат в муфельной печи при постепенном нагреве до температуры не выше 450° С. Момент полного обезвоживания определяется прекращением вспучивания буры.

Безводную буру, не охлаждая, растирают в фарфоровой ступке и помещают в банки с герметизированными пробками.

Фтористый калий обезвоживают на противнях из нержавеющей стали при температуре 250—300° С в течение 5—6 час. После этого еще горячий фтористый калий в металлической ступке разбивают на куски размером не более 10 × 10 × 10 мм и хранят в герметически закрытой банке.

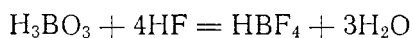
Борный ангидрид размельчают на куски примерно в половину меньше, чем для фтористого калия, а затем размалывают в шаровой фарфоровой мельнице до состояния пудры.

При отсутствии борного ангидрида его получают из борной кислоты путем расплавления ее в фарфоровых или шамотных тиглях.

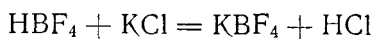
Размолотый борный ангидрид хранят в банках с резиновыми прокладками или пробками.

В случае отсутствия фторбората калия приготовление его производят в платиновой чашке или в парафинированном химическом стакане путем растворения небольших порций борной кислоты в 20-процентной плавиковой кислоте при помешивании до насыщения. Процесс растворения борной кислоты ведут при охлаждении, не допуская нагрева раствора выше +20° С.

В процессе растворения борной кислоты в плавиковой кислоте образуется борфтористая кислота по реакции:



Полученный раствор борфтористой кислоты сливают в другой стакан и, помешивая, добавляют в него предварительно насыщенный при нагревании раствор хлористого калия до прекращения выделения осадка тетрафторбораткалия:



Осадок тетрафторбораткалия отсасывают на воронке Бюхнера и промывают холодной дистиллированной водой до отрицательной реакции на хлор — проба AgNO_3 .

Полученную соль тетрафторбораткалия вначале сушат между листами фильтровальной бумаги, а затем — в термостате при температуре 100° С. Высушенную соль растирают в фарфоровой ступке и помещают в банку с герметизированной пробкой.

Подготовленные компоненты флюсов отвешивают согласно указанной в табл. 2 рецептуре, а затем тщательно перемешивают

и размалывают в фарфоровой шаровой мельнице до состояния пудры.

После размола готовые флюсы немедленно упаковывают в стеклянные банки с герметизированными пробками.

Приготовление флюсов для пайки алюминия и магния

В настоящее время из всей группы флюсов, применяемых для пайки алюминия, освоено изготовление лишь флюса марки 34А (ТУ МХП 3930 — 53), который выпускается бакинским заводом и ленинградским заводом «Красный химик».

Технология приготовления флюсов для пайки алюминия и магния, марки и состав которых рассмотрены в табл. 7, 8 и 15, связана с применением материалов, указанных в табл. 20.

Таблица 20

Исходные материалы для приготовления флюсов

Наименование материала	Марка	ГОСТ или ТУ
Калий хлористый	Чистый	4234—48
Литий хлористый	"	ВТУ МХП—248
Натрий фтористый	"	4463—48
Натрий хлористый	"	4233—48
Литий фтористый	"	ВТУ МХП—2846—51
Калий фтористый	"	4522—48
Цинк хлористый	"	4529—48
Кадмий хлористый	"	4330—50
Аммоний хлористый	"	3773—47
Парафин	"	784—53
Триэтаноламин	"	ТУ МХП 1931—49
Фторборат кадмия	"	Приготовление фторбористых соединений кадмия, цинка и аммония производится по инструкции ГГО.045.374
Фторборат цинка	"	
Фторборат аммония	"	

Приготовление флюсов производится из обезвоженных и хорошо высушенных на противнях из нержавеющей стали солей. Имея в своем составе кристаллизационную воду, они сначала плавятся в ней, а затем высушиваются при температуре 110—150° С.

Для солей, не имеющих в своем составе кристаллизационной воды, сушка производится 3—4 часа при температуре 110—150° С.

Такие соли, как хлористый литий и фтористый калий, сначала высушивают в сушильном шкафу при температуре 110—200° С

в течение 5—6 час., а затем в течение 3—5 час. продолжают сушку в печи с температурой 250—300° С.

Фтористый алюминий высушивают в печи при температуре 250—300° С в течение 3 час.

Хорошо высушенные соли размельчают и в случае непродолжительного хранения помещают в сушильный шкаф с температурой 110—150° С.

Для длительного хранения соли помещают в стеклянные банки с герметически закрытыми пробками.

Приготовление флюсов марок 34А, Ф380А и Ф370А. Для каждого флюса согласно с его химическим составом рассчитывают и отвешивают ранее высушенные исходные соли.

Полученные навески солей, кроме хлористого цинка, загружают в фарфоровый или корундизовый тигель (допускается кварцевый стакан) и ставят в электропечь при температуре 600—650° С.

После расплавления солей температуру снижают до 450—500° С и для флюсов 34А и Ф380А вводят соответствующие навески хлористого цинка.

Вести плавку солей в металлических тиглях нельзя, так как расплавленные соли сильно растворяют почти все металлы, а сами теряют флюсующие свойства.

Расплавленный флюс размешивают сухой фарфоровой палочкой или прутом из нержавеющей стали, а затем выливают в сухой противень, изготовленный из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т.

Готовые флюсы дробят на мелкие куски, растирают в фарфоровой ступке или шаровой мельнице до состояния пудры и хранят в стеклянных банках с герметизированными пробками.

Приготовление флюса Ф220А. Для приготовления флюса предварительно составляется смесь фтористых обезвоженных солей следующего состава: LiF — 29%; NaF — 12% и KF — 59%.

Составленная смесь плавится в корундизовом тигле при температуре 600—650° С, затем выливается на противень, разбивается на мелкие куски и растирается в ступке до состояния пудры.

Приготовление флюса производится быстрым смешением заранее взвешенных компонентов согласно рецептуре флюса.

Хранят флюс в парафинированных банках с притертыми пробками.

Приготовление флюса Ф59А. Технология приготовления флюса состоит в том, что сначала в соответствии с его составом отвешивают исходные материалы. Согласно числу фторбористых добавок отвешенную дозу триэтаноламина разделяют на три порции. В каждую порцию триэтаноламина вводят отвешенное количество одной из составляющих флюса и тщательно размешивают пестиком в фарфоровой ступке. После этого полученные смеси сливают вместе и перемешивают.

Готовый флюс в виде коричневой жидкости должен давать

нейтральную реакцию с лакмусом и может храниться в закрытой стеклянной или железной таре.

Приготовление флюса марки Ф380Мг. Флюс Ф380Мг для пайки магниевых сплавов, так же как и флюсы для твердой пайки алюминия, готовят из заранее обезвоженных и хорошо высушенных солей. Сушка солей производится в противнях из нержавеющей стали, но хлористый литий сушат в корундовой чашке. Для приготовления флюса отвешивают согласно химическому составу (табл. 15) исходные соли, перемешивают их и загружают в холодный корундовый тигель. Затем тигель ставят в печь и после расплавления флюса перемешивают его мешалкой из нержавеющей стали.

Доведя температуру расплава до 500—550° С, дают ему 3—5-минутную выдержку при этой температуре и затем выливают на заранее подогретый противень.

Флюс рекомендуется хранить в плавленном состоянии в сухом помещении в банках с герметизированными пробками.

Приготовление припоев для пайки алюминиевых и магниевых сплавов

Твердые и мягкие припои для пайки алюминия и магния, химический состав которых приведен в табл. 10, 12 и 17 готовятся из стандартных материалов, перечисленных в табл. 21.

Таблица 21

Исходные материалы для приготовления припоев

Наименование материала	Марка	ГОСТ или ТУ
Алюминий первичный .	А00	3549—55
Магний первичный . .	Mг1	804—49
Медь электролитическая	М1	859 . 41
Кремний	Кр0	2169—43
Олово	01	860—41
Марганец	Мр00	6008—51
Цинк	Ц0	3640—47
Кадмий	Кд0	1467—42
Серебро	Ср999	6836—54
Фольга алюминиевая . .	А00	618—50
Флюс	В12	АМТУ 283—43

При изготовлении твердых алюминиевых припоев в виду высокой температуры плавления таких компонентов, как медь, кремний и марганец, используют пригодные стандартные или специально готовят следующие промежуточные легкоплавкие сплавы, или иначе, — лигатуры: алюминивно-медную, с оптимальным содержанием меди $50 \pm 2\%$; алюминивно-кремнистую

с оптимальным содержанием кремния $20 \pm 2\%$ и алюминиево-марганцовистую с оптимальным содержанием марганца $14 \pm 1\%$ при наличии примесей не свыше 1% .

Плавка лигатур и припоев производится в электропечах в графитовом или керамическом тигле, предварительно очищенном от шлака и сплесток металла.

Для приготовления алюминиево-медной и алюминиево-марганцовистой лигатур сначала отвешивают исходные материалы согласно химическому составу и затем загружают в тигли для первой лигатуры медь, а для второй марганец и одновременно с ними, для ускорения плавки, загружают $10\text{—}15\%$ алюминия, идущего в шихту. Доводят температуру в тиглях до $800\text{—}850^\circ\text{C}$ и, периодически помешивая, растворяют в первой лигатуре медь, а во второй марганец. Затем в расплавы вводят оставшийся алюминий предварительно подогретый до $150\text{—}200^\circ\text{C}$ и для ускорения плавки тщательно их перемешивают.

После этого с помощью специального колпачка с отверстиями производят рафинирование сплавов обезвоженным хлористым цинком из расчета $0,1\%$ от веса шихты.

Дав сплавам отстояться, снимают шлак и при температуре металла $700\text{—}750^\circ\text{C}$ производят его разливку в подогретые до $300\text{—}350^\circ\text{C}$ изложницы.

Приготовление лигатуры алюминий-кремний начинается с отвешивания исходных компонентов в количествах, соответствующих химическому составу сплава. После этого в тигель загружают алюминий, расплавляют его и подняв температуру до 850°C , вводят порциями кремний в виде кусочков, предварительно завернутых в алюминиевую фольгу, которая предотвращает обволакивание кремния пленкой окиси алюминия.

Каждую новую порцию кремния вводят лишь после растворения предыдущей при обязательном перемешивании сплава.

После растворения последней порции кремния сплав тщательно перемешивают и также рафинируют обезвоженным хлористым цинком.

Разливку в изложницы производят короткой и широкой струей, не допуская разбрызгивания металла.

Чушки полученных лигатур маркируют с указанием номера плавки и марки сплава.

В качестве шихтового материала лигатуры применяют лишь после получения удовлетворительного результата химического анализа.

Приготовление припоев марок П590А, П550А, 34А *, П480А и П425А. Согласно полученным результатам химического анализа лигатур и составуготавливаемого припоя рассчитывают, а затем отвешивают исходные материалы. В тигель загружают одно-

* Припой 34А (276АМТУ-49) поставляется в виде чушек.

временно отвешенные лигатуры и алюминий и при температуре 700—730° С производится плавка.

После расплавления лигатур и алюминия сплавы тщательно перемешивают. Применительно к припоям марок П480А и П425А сплавы охлаждают до 600—650° С и только после этого вводят отвешенное количество цинка, предварительно подогретого до 150—200° С. По расплавлении металлов сплавы повторно перемешивают и рафинируют хлористым цинком из расчета 0,1% от веса металла.

Затем сплавам дают отстояться, снимают шлак, берут пробы на химический анализ и производят разливку по изложницам или в прутки соответствующего диаметра и длины.

Приготовление припоя П575А. В отличие от других твердых припоев технология приготовления двухкомпонентного алюминиево-цинкового припоя марки П575А состоит в следующем: рассчитывают и отвешивают необходимое количество алюминия и цинка. Загружают в тигель только цинк, и после расплавления его перегревают до температуры 550—600° С, а затем уже вводят и растворяют алюминий.

Далее сплав подвергают рафинированию и разливке уже известными приемами.

Приготовление припоев П300А, П250А, П200А и П150А. Согласно химическому составу припоя рассчитывают и отвешивают олово, цинк и кадмий. В тигель загружают отвешенное количество цинка и при температуре 450—500° С производят плавку.

После полного расплавления цинка в припой П300А и П150А вводят отвешенное количество кадмия, и после его расплавления в припой П150А, П250А и П200А вводят требуемое количество олова. Дав сплавам отстояться, снимают шлак, берут пробы на химический анализ и разливают сплав в прутки.

Приготовление припоя марки П170А. Рассчитывают и отвешивают согласно химическому составу исходные металлы — олово, кадмий и серебро.

Загружают в тигель олово и серебро и, закрыв их слоем угля, нагревают до температуры 300—325° С и, периодически помешивая сплав, производят растворение серебра в олове.

После полного растворения серебра повышают температуру сплава до 350—375° С и вводят кадмий. Тщательно перемешав сплав, дают ему отстояться, снимают уголь и шлак, берут пробу на химический анализ и производят разливку в прутки.

Приготовление припоев марок П380Мг и П430Мг. Исходя из химического состава припоя (табл. 17), рассчитывают шихту и отвешивают исходные металлы. Для плавки берут тигель из малоуглеродистой стали, и, предварительно подогрев его до 400—500° С, присыпают дно и стенки тигля молотым флюсом марки ВИ2 из расчета 0,2% от веса шихты.

После этого загружают в тигель предварительно подогретые до 120—150° С магний и алюминий, затем присыпают шихту

флюсом ВИ2 из расчета 1% от веса шихты и производят плавку. По расплавлении металлов температуру в тигле поднимают до 700—720° С и вводят цинк.

В случае возникновения очагов горения их гасят порошкообразным флюсом ВИ2. Подогретой ложкой снимают с поверхности металла шлаки и, засыпав свежий флюс ВИ2 в том же количестве, производят рафинирование сплава путем интенсивного его перемешивания в течение 3—5 минут.

При рафинировании мешалка должна совершать возвратнопоступательные движения сверху вниз, не касаясь дна тигля.

Рафинирование считается законченным, когда поверхность металла приобретет блестящий зеркальный вид. Повторно с поверхности металла снимают шлак и загрязненный флюс. Взяв пробу на химический анализ, зеркало металла засыпают свежим флюсом ВИ2 и дают сплаву отстояться в течение 10—15 минут.

Готовый сплав при температуре 650—720° С разливают в прутки диаметром 2—3 мм при длине 400—500 мм, используя ковш с калиброванным носком.

Технология изготовления дозированных заготовок и прутков припоев

В серийном и массовом производстве для пайки латунных и алюминиевых деталей с нагревом ТВЧ, электроконтактным и особенно в соляных ваннах припой необходимо дозировать.

Серебряные и другие нехрупкие припои дозируются сравнительно легко. Из них делают заготовки, навивая калиброванную проволоку припоя на специальные оправки соответствующей формы и размеров, а затем разрезают полученную спираль на отдельные звенья. Длина проволоки заготовки припоя выбирается равной периметру шва, а диаметр определяется из весовой дозы и длины заготовки.

Применяемые при пайке алюминиевых узлов твердые припои П590А, П575А, П550А, 34А и П425А очень хрупки, что исключает возможность гибки дозированных колец или шайб из проволоки указанных припоев.

Разработан и рекомендуется способ получения дозированных заготовок из хрупких припоев методом отливки в кокиль.

По предлагаемому способу расплавленный припой заливают в специальный кокиль, где получается отливка в виде решетки.

Для получения заготовок припоев для пайки прямоугольных алюминиевых труб с фланцами необходимо иметь кокиль, показанный на рис. 11.

Система профилированных канавок кокиля обеспечивает отливку припоя в виде решетки, из которой с помощью кусачек легко получить прямоугольные звенья, представляющие одинаковые по весу и форме заготовки припоя.

На рис. 12 показан вид решетки и полученных из нее заготовок припоя П575А.

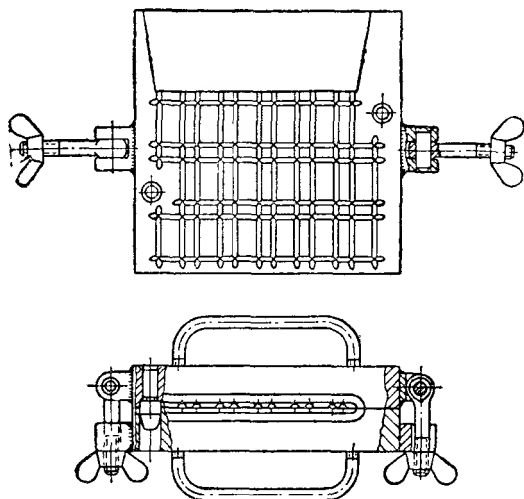


Рис. 11. Кокиль для отливки припоев в виде решетки.

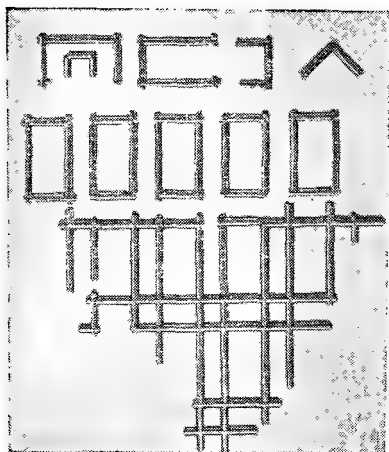


Рис. 12. Решетка и вырезанные из нее заготовки припоя П575А.

При пайке алюминиевых и магниевых деталей с нагревом газовыми горелками применяется припой в виде прутков, отливка которых производится специальным ковшом, изготовленным из жаростойкой листовой стали толщиной 1,5—2,0 мм.

Толщина прутков припоя находится в следующей зависимости от диаметра отверстия носка ковша:

Толщина прутка припоя, мм	2	4	6	8
Диаметр отверстия носка ковша, мм	1,5	3	4	5

Отливка прутков производится в угловое железо. Расплавленный припой наливают в нагретый ковш, который в случае необходимости подогревают на $100\text{—}150^\circ\text{C}$ выше температуры плавления и, коснувшись калиброванным носком горизонтальной поверхности уголка, быстро, не нарушая соприкосновения, перемещают ковш вдоль уголка.

Для ускорения разливки берут угловое железо длиной 3—4 м.

Для повышения жидкотекучести припоя и растворения окисной пленки в ковш на поверхность расплавленного припоя для пайки алюминия, вводится флюс 34А или обезвоженный хлористый цинк в количестве от 0,3 до 0,5% от веса расплавленного припоя.

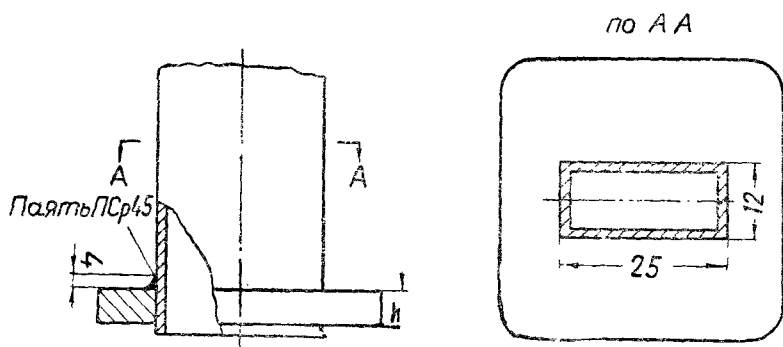


Рис. 13. Пайка трубы с фланцем.

При разливке припоев для пайки магниевых сплавов ковш необходимо предварительно нагреть и промыть в тигле с расплавленным флюсом ВИ2.

В случае возникновения очагов горения в ковше с припоями ПЗ80Мг и П430Мг их гасят смесью серы и борной кислоты при соотношении 1 : 1 или серным цветом.

Применять припой разрешается только при наличии удовлетворительных результатов химического анализа.

Изготовленные прутки припоев разрезают на заготовки длиной 400—500 мм, связывают в пачки и прикрепляют бирки с указанием марки припоя, номера плавки и даты изготовления.

Для вязких припоев примерный расчет дозированных заготовок показан ниже*.

Определить дозированную заготовку припоя ПСр45 для пайки соединения (рис. 13).

* Расчет произведен инж. Н. Г. Мелиным.

Длина проволоки заготовки припоя $l_0 = 2(25 + 12) = 74 \text{ мм} = 7,4 \text{ см}$; площадь соединительного слоя $F = 2 \cdot 25 \cdot 5 + 2 \cdot 12 \cdot 5 = 370 \text{ мм}^2 = 3,7 \text{ см}^2$; зазор между трубой и фланцем по всему периметру шва принимаем равным $0,08 \text{ мм}$; норматив расхода припоя на 1 см^2 поверхности соединительного слоя, равный $0,080 \text{ г/см}^2$, находим по табл. 5 нормали АН-1503.

Расход припоя на соединительный слой всего соединения выразится в $3,7 \cdot 0,080 = 0,296 \text{ г}$; длина мениска $l = l_0 = 7,4 \text{ см}$; принимая размер выступа $h = 1,0 \text{ мм}$, по табл. 6 (см. АН-1503) находим норматив расхода на мениски, который равен $0,034 \text{ г/пог.см}$.

Учтя коэффициент $0,5$, получим

$$0,034 \cdot 0,5 = 0,017 \text{ г/пог.см.}$$

Расход припоя на мениск составит

$$7,4 \cdot 0,017 = 0,126 \text{ г.}$$

Поскольку мениск образуется на обеих сторонах фланца расход удваиваем

$$0,126 \cdot 2 = 0,252 \text{ г.}$$

Весовая доза Нр заготовки будет равна

$$\text{Нр} = 0,296 + 0,252 = 0,548 \text{ г.}$$

Выражая Нр через объем V (см^3) и удельный вес γ (г/см^3), получим

$$\text{Нр} = V \cdot \gamma = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_0 \gamma.$$

Отсюда диаметр проволоки припоя

$$d = 2 \sqrt{\frac{\text{Нр}}{\pi \cdot l_0 \gamma}} = 2 \sqrt{\frac{0,548}{3,14 \cdot 7,4 \cdot 9,8}} = 0,098 \text{ см} = 0,98 \text{ мм} \approx 1 \text{ мм.}$$

Полученные в результате расчета диаметры проволоки должны быть приведены к нормальным в соответствии с ГОСТ 8190 — 56.

Глава 4

ПАЙКА С НАГРЕВОМ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Сравнительные показатели процесса и применяемое оборудование

До последнего времени в машиностроении наиболее известными и распространенными были пайка с нагревом электропаяльниками, в пламени газовых горелок и окунанием в расплавленный припой. Эти способы используются при пайке мягкими и твердыми припоями деталей как из черных, так и из цветных металлов и сплавов. Они нашли широкое применение в приборостроении, электротехнике и других отраслях машиностроения.

Всего лишь несколько лет назад в такой новейшей области радиотехники, как производство волноводов, где ведущее место при сборке деталей занимает пайка твердыми и мягкими припоями, применяли только газопламенную пайку.

Особенности распространения электромагнитных волн в волноводах и объемных резонаторах выдвигают требования, реализация которых зависит от совершенства технологии изготовления отдельных деталей и соединения их в узлы.

Технологический процесс пайки волноводов и ряда других узлов аппаратуры должен обеспечить высокую механическую прочность соединений при надежной герметичности, вибропрочности и коррозионной стойкости паяных швов; отсутствие коробления деталей и затекания припоя во внутренние полости; соединение деталей в точном соответствии с чертежными размерами и допусками.

Опыт серийных заводов по использованию технологии газопламенной пайки при производстве волноводов из меди и ее сплавов выявил существенные недостатки процесса, которые снижали качество паяных соединений. При пайке в пламени кислородно-ацетиленовых горелок не обеспечивается равномерный нагрев соединяемых деталей. Это резко увеличивает степень коробления деталей и неизбежно приводит к непропаю отдельных участков шва и отсутствию герметичности соединения. Слепящее пламя с дутьем затрудняет подачу флюса и создает неблагоприятные условия для наблюдения за процессом пайки, а подача припоя «с прутка» исключает возможность дозирования серебра-

ных припоев и приводит к их нерациональному расходу. Галтели паяных швов получаются неравномерными, с наплывами припоя снаружи и во внутренних полостях. Зачистка наплывов связана со значительными затратами ручного труда.

При использовании в качестве флюса буры, температура плавления которой 741°C , металл до начала плавления флюса покрывается толстым слоем окисной пленки, затрудняющей пайку и снижающей качество паяных швов.

Пайка с нагревом газовыми горелками трудно поддается механизации, производится вручную, с большой затратой труда рабочих высокой квалификации. Кроме этого, нагрев пламенем кислородно-ацетиленовых горелок при пайке алюминия сопровождается обменными реакциями между составляющими флюсов и газами пламени, что резко снижает активность флюсов, приводит к загрязнению и пористости швов, снижению их прочности и стойкости против коррозии. Поэтому применение кислородно-ацетиленовых горелок совершенно недопустимо для пайки алюминиевых узлов ответственного назначения. Удовлетворительные результаты дает применение бензино-воздушных горелок или горелок, работающих на бытовом газу.

Вот почему в последние годы в производстве аппаратуры, взамен газопламенной пайки осваиваются более совершенные процессы, среди которых видное место занимает пайка с нагревом ТВЧ.

Процесс состоит в том, что детали, соответственно подготовленные к пайке, устанавливают на приспособление, на швы укладывают флюс и дозированные заготовки припоя, а затем вводят в индуктор высокочастотного генератора. Быстрый и равномерный нагрев деталей до температуры пайки осуществляется за счет тепла, выделяемого индуктированными токами в толще металла.

Нагрев ТВЧ происходит без применения внешних источников тепла и позволяет равномерно нагревать лишь требуемые зоны, что резко снижает степень коробления нагреваемых деталей. В отличие от газопламенной пайки, при нагреве ТВЧ не образуется слепящее пламя, затрудняющее подачу флюса и наблюдение за расплавлением и растеканием припоя.

По сравнению с газопламенной высокочастотная пайка имеет ряд преимуществ: высокое качество паяных соединений, которое обеспечивается благодаря быстрому и равномерному нагреву при меньшей степени окисления и коробления деталей; повышение производительности труда на 40—50% благодаря резкому сокращению времени нагрева и возможности концентрировать значительные мощности в малом объеме; снижение расхода серебряных припоев при пайке деталей из меди и ее сплавов на 30—50%; возможность вести процесс пайки в вакууме без применения флюсов.

Таблица 22

Технические характеристики генераторов

Тип генератора	Мощность выходная номинальная, <i>квт</i>	Рабочая частота, <i>кГц</i>	Габаритные размеры, <i>мм</i>
ЛГЗ—10 . .	10	600—700	1180×1020×2030
ЛГЗ—30 . .	30	200—250	1400×2800×2300
ЛГПЗ—30 .	30	200—250	2680×3680×2300
ЛГЗ—60 . .	60	200—250	1400×2800×2300
ЛГПЗ—60 .	60	200—250	2680×3750×2300

Для пайки с нагревом ТВЧ наиболее широко используются ламповые плавно-закалочные генераторы, технические характеристики которых приведены в табл. 22.

Для рационального использования генераторов рекомендуется оснащать их педальными выключателями ножного действия. Кроме этого, для ЛГЗ-60 и ЛГПЗ-60 рекомендуется вести процесс при включении генератора на одну генераторную лампу; это уменьшает расход электроэнергии и значительно увеличивает срок службы генераторных ламп.

Применение нагрева ТВЧ позволяет решить вопросы механизации процесса пайки, однако целесообразность ее в каждом случае должна оцениваться программой выпуска изделий.

В мелкосерийном производстве для облегчения ручных приемов пайки рекомендуется иметь специальные столы. Стол типовой конструкции имеет две тумбы размеров 400 × 350 мм, между которыми смонтирован круглый подъемно-поворотный рабочий столик диаметром 400 мм для установки приспособлений с узлами, подлежащими пайке. Тумбы и поворотный столик покрыты сверху листовым шифер-асбестом.

Технологическая оснастка

Технологическая оснастка для пайки с нагревом ТВЧ состоит из приспособлений для установки и крепления входящих в узлы деталей и нагревательных индукторов.

Совершенство конструкции приспособлений и индукторов определяют производительность процесса пайки и рентабельность использования высокочастотного генератора.

Сущность нагрева ТВЧ достаточно подробно освещена в технической литературе, посвященной вопросам использования высокочастотного нагрева для закалки сталей и плавки металлов. Однако требования на проектирование технологической оснастки для закалки нельзя полностью переносить на оснастку для высокочастотной пайки деталей из цветных металлов.

Разработка конструктивных элементов приспособлений для пайки узла должна идти в неразрывной связи с выбором конструкции индуктора.

От правильности конструкции индуктора, в котором концентрируется электромагнитная энергия генератора, в значительной степени зависит коэффициент полезного действия установки и время нагрева деталей.

Опыт проектирования и изготовления индукторов для пайки деталей радиоаппаратуры позволяет наметить определенную методику их разработки.

Для пайки каждого нового типа узла требуется изготовление специального индуктора, обеспечивающего равномерный нагрев металла в зоне шва. При узкой зоне нагрева используют одновитковые индукторы, а при широкой — применяют индукторы с двумя, тремя и более витками, обеспечив в них межвитковые зазоры в пределах от половины до одного диаметра трубы, из которой изготавливают индуктор. Для пайки волноводов, как правило, применяют одновитковые индукторы, обеспечивающие нагрев узких участков в зоне шва.

Применительно к конкретному узлу, подвергаемому нагреву, определяют форму рабочего витка индуктора. Определение оптимальной формы индуктора является ответственной задачей и требует от конструктора известного опыта.

Интенсивность нагрева при всех прочих равных условиях в большей степени зависит от зазора между витком индуктора и нагреваемой поверхностью. Практически установлены и рекомендуются зазоры в пределах от 4 до 10 мм на сторону.

Вылет индуктора (расстояние l на рис. 14) необходимо назначать предельно коротким в связи с тем, что при увеличении его резко падает к. п. д. индуктора.

В заводской практике для пайки узлов на генераторах ЛГПЗ-30, ЛГПЗ-60 и ЛГЗ-60 наиболее широко распространена конструкция индукторов, показанная на рис. 14.

Все детали индуктора изготавливают из меди, а сборку их производят с помощью пайки твердым припоем ПМЦ-36 ГОСТ 1534 — 42.

При оснащении технологического процесса пайки в серийном производстве требуется изготовление индукторов в большом количестве, но в конструктивном отношении разница между ними будет лишь в форме и размерах рабочих витков.

Для унификации индукторов, сокращения расхода цветного металла и трудоемкости изготовления предложена* конструкция индуктора со сменными рабочими витками (рис. 15).

Цанговый зажим сменных витков и уплотнение их с помощью резиновых шайб гарантируют надежный электрический контакт, герметичность и быструю переналадку индуктора.

* Предложение автора и инж. А. В. Чирцова.

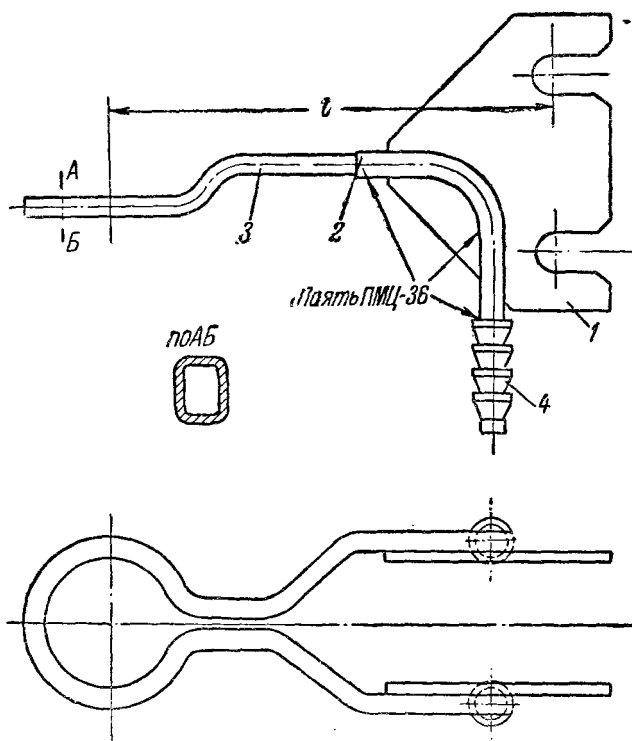


Рис. 14. Старая конструкция индуктора:
1 — щека; 2 — соединительный патрубок; 3 — рабочий виток;
4 — штуцер.

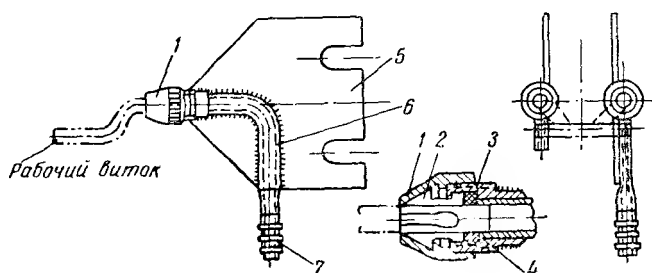


Рис. 15. Унифицированный индуктор со сменными рабочими витками:

1 — накидная гайка; 2 — цапга; 3 — уплотнительная шайба;
4 — переходник; 5 — щека; 6 — соединительный патрубок;
7 — штуцер.

Изготовление индукторов из медных труб не представляет сложности. С применением же сменных витков технология изготовления предельно упрощается — отпадают пайка и изготовление ряда деталей.

Основание индуктора, будучи изготовлено один раз, монтируется на генераторе. При наличии необходимого количества комплектов сменных цанг и шайб можно быстро производить переналадку индуктора.

В практике изготовления индукторов для пайки чаще всего используются трубы из меди марки МЗ, ГОСТ 617 — 53 с размерами, указанными в табл. 23.

Т а б л и ц а 23

Трубы для изготовления индукторов

Наружный диаметр, мм . .	5	6	7	8	9	10
Внутренний диаметр, мм . .	4	5	6	6,5	7,5	8
Вес 1 пог. м, кг	0,063	0,077	0,090	0,15	0,17	0,25

Перед изготовлением индукторов трубы необходимо отжигать, для этого их нагревают до 800° С и быстро охлаждают в воде.

Профилирование труб на участке рабочего витка в обычных индукторах производится перед пайкой. В индукторах со сменными рабочими витками, концы которых должны быть цилиндрическими на длине не менее 50 мм, профилирование целесообразно производить после того, как рабочий виток согнут по форме, указанной в чертеже.

Опыт изготовления индукторов показывает, что отоженные трубы при гибке и профилировании без наполнения песком легко приобретают требуемую форму. При сложных формах витка необходимо в процессе гибки и профилирования повторно отжигать трубы.

Профилирование труб можно производить через прямоугольные фильеры, а также в специальных валках или вручную молотком на текстолитовых или металлических оправках.

После установки индуктора на генератор необходимо проверить герметичность соединений и отсутствие подтекания путем опрессовки водой при давлении 1,5—2 атм.

Чтобы избежать замыкания витка индуктора введенной в него деталью, рабочий виток необходимо обмотать асбестовым шнуром диаметром 1—2 мм, витки которого должны плотно прилегать друг к другу. Более совершенной изоляцией может служить слой из жаропрочных эмалей, наложенный горячим методом. Такой индуктор допускает прикосновение деталей к витку без порчи его и деталей, подвергаемых нагреву.

Проектированию и изготовлению приспособлений для пайки с нагревом ТВЧ должно уделяться такое же внимание, как приспособлениям для механической обработки деталей на металло-режущих станках.

При проектировании приспособлений необходимо учитывать два существенных обстоятельства: отдельные элементы приспособлений в процессе работы, находясь в электромагнитном поле высокой частоты, подвержены периодическому нагреву до температуры $600\text{--}800^\circ\text{C}$; некоторые детали приспособлений соприкасаются с расплавленными припоями и флюсами.

При проектировании приспособлений для пайки рекомендуется ознакомиться с операционно-технологическим процессом пайки данного узла или звена изделия; тщательно изучить конструктивные особенности узла, подлежащего пайке, наметить метод нагрева и выбрать требуемую форму рабочего витка индуктора; спроектировать приспособление так, чтобы оно обеспечивало соединение деталей при пайке узлов в точном соответствии с размерами и допусками, указанными в чертеже. Приспособление должно гарантировать легкую установку узла, надежное крепление и быстрый съем его после пайки, а также хороший обзор шва в процессе нагрева узла в индукторе; проектировать элементы приспособления с учетом надежного экранирования выступающих углов и кромок нагреваемых деталей от оплавления и попадания расплавленного припоя на внутренние поверхности деталей; при назначении размеров и допусков на отдельные детали приспособлений тщательно учитывать вероятность нагрева и изменения линейных размеров элементов приспособления.

При пайке изделий в серийном производстве целесообразно изготавливать на каждый узел не одно, а три-четыре приспособления-дублера с таким расчетом, чтобы подручный оператора мог заблаговременно подготовить узлы для пайки. Для удобства работы в каждом приспособлении необходимо иметь элементы крепления ручки.

Для предохранения рук оператора от ожогов все съемные ручки должны быть снабжены теплоизоляционными накладками из диэлектрического материала — текстолита или шифер-асбеста.

Типовые конструкции индукторов и приспособлений, применяемых для пайки с нагревом ТВЧ, представлены на рис. 16—22 (*а* — рабочее положение; *б* — узел, подвергаемый пайке; *в* — рабочий виток индуктора; *г* — приспособление).

Форма индуктора и размеры 50×50 мм (рис. 16, *в*) выбраны с таким расчетом, чтобы при пайке плоского фланца можно было ввести в индуктор трубу с ранее припаянным дроссельным фланцем, а собственно нагрев деталей при пайке производить в петле размерами 24×40 мм. Все детали приспособления (рис. 16, *г*) выполнены из малоуглеродистой стали.

Для пайки трубы с дроссельным фланцем в комплект приспособления (рис. 17, *г*) входит кольцевой медный экран 1, который надевается на фланец и предохраняет его от перегрева и оплавления острых кромок.

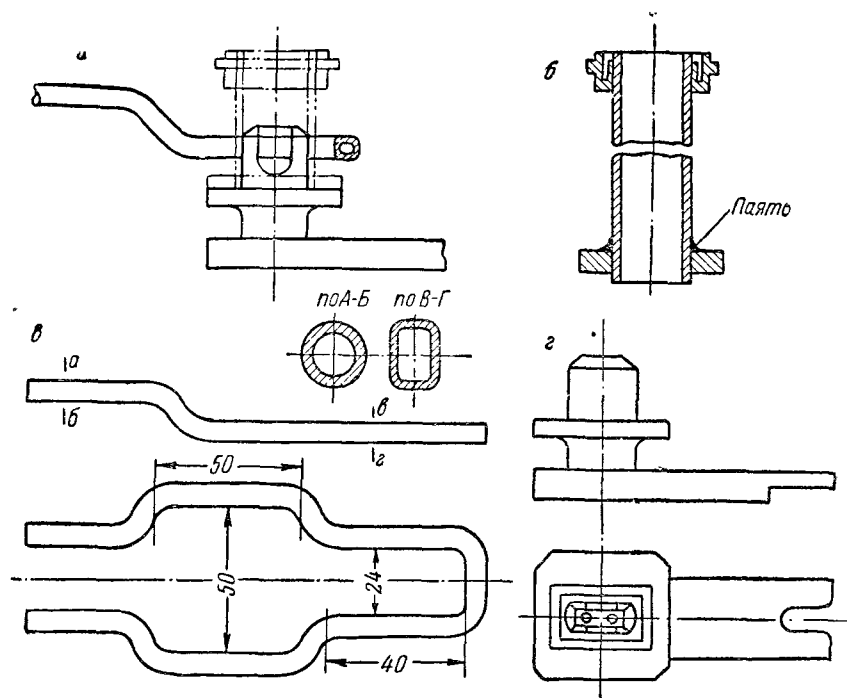


Рис. 16. Индуктор и приспособление для пайки плоского фланца с трубой: *а* — рабочее положение, *б* — узел, подвергаемый пайке, *в* — рабочий виток индуктора, *г* — приспособление.

При пайке узла (рис. 18, *б*) острые выступы нагреваемых деталей предотвращаются от перегрева тем, что в рабочем витке индуктора (рис. 18, *в*) предусмотрены отогнутые участки $R 5$, резко увеличивающие зазор между индуктором и нагреваемыми поверхностями.

Конструкция приспособления (рис. 19, *г*) обеспечивает пайку среднего фланца на расстоянии $65 \pm 0,1$ мм от торца трубы, где уже имеется фланец с дроссельной канавкой, припаянный раньше.

Наличие в трубе и втулке отверстий (рис. 20, *б*) позволяет с помощью фиксатора 1 и экрана 2 точно установить детали по месту пайки. Экран и желоб приспособления 3 изготовлены из меди и предназначены первый — для предотвращения перегрева и оплавления острых кромок резьбы на втулке 4, а второй — кромок трубы.

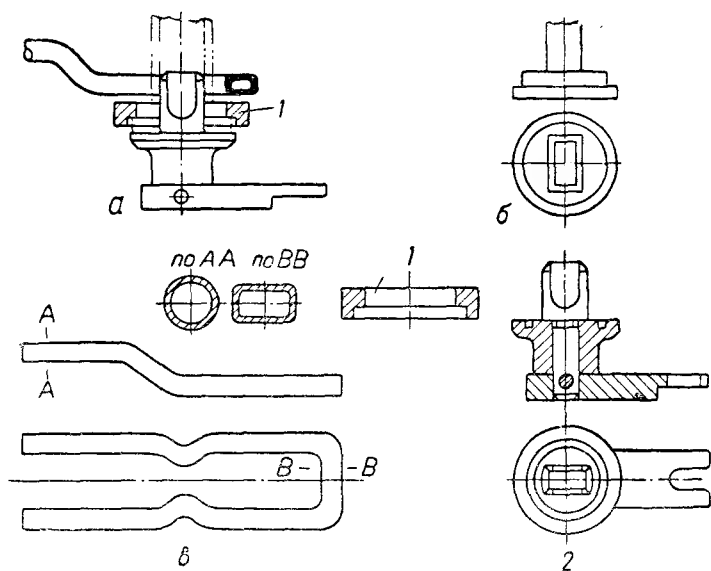


Рис. 17. Индуктор и приспособление для пайки трубы с дроссельным фланцем.

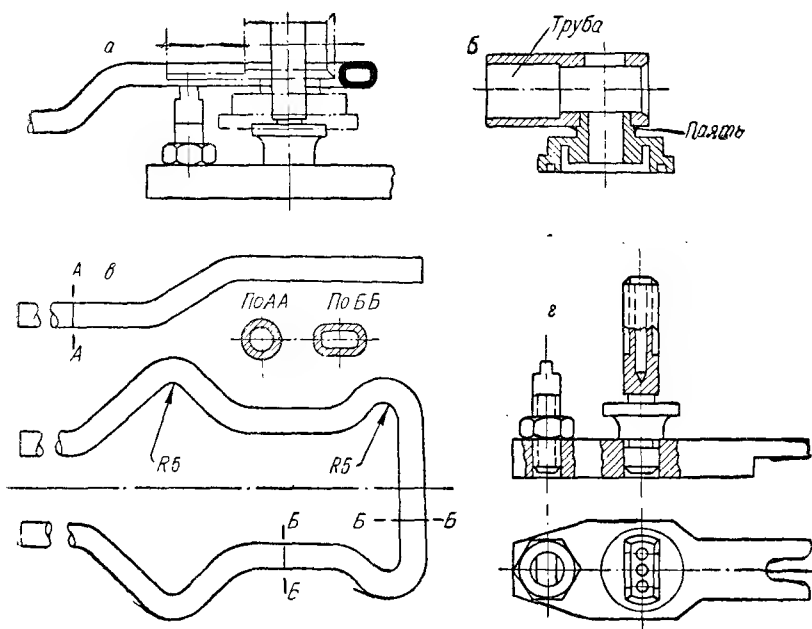


Рис. 18. Приспособление и индуктор для пайки трубы с фланцем.

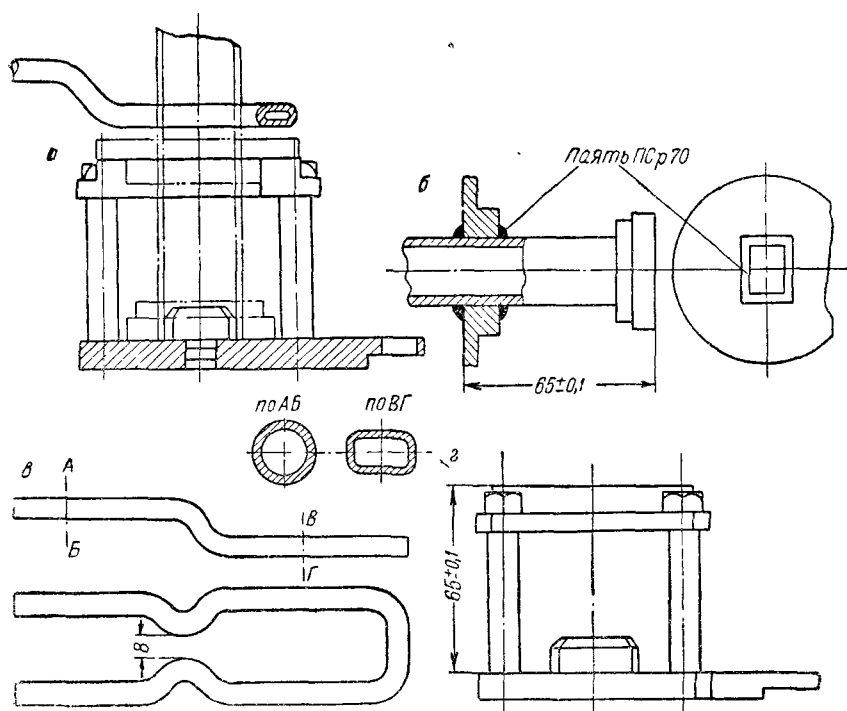


Рис. 19. Оснастка для пайки среднего фланца к трубе.

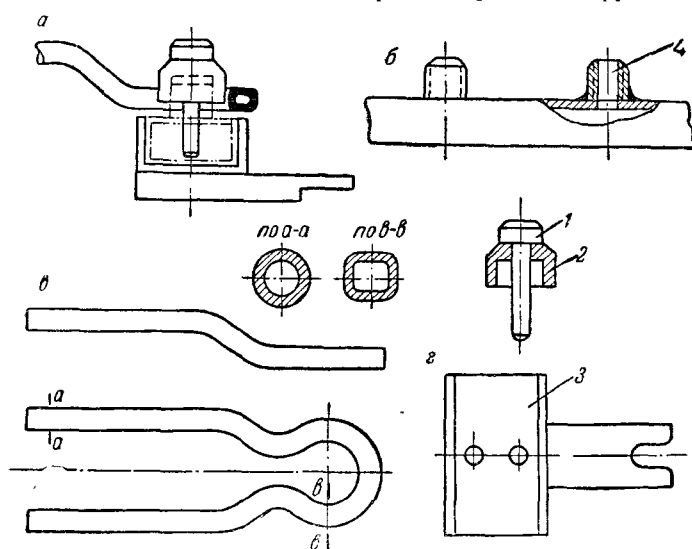


Рис. 20. Индуктор и приспособление с экраном и фиксатором для пайки втулок к трубе:

1 — фиксатор; 2 — экран; 3 — желоб приспособления; 4 — втулка.

Фиксирование деталей при пайке (рис. 21, а) производится двумя фиксаторами 1, входящими в соответствующие отверстия втулок и трубы волновода. Желоб приспособления 2 выполнен из меди, а планка 3 и фиксаторы 1 — из малоуглеродистой стали.

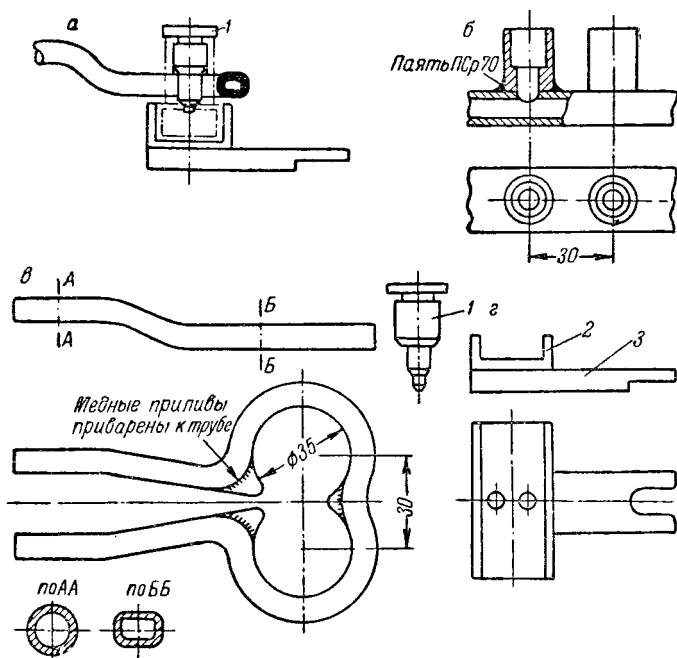


Рис. 21. Оснастка для одновременной пайки двух втулок к трубе:

1 — фиксатор; 2 — желоб; 3 — планка.

Приспособление, изображенное на рис. 22, г, обеспечивает быструю установку и съем узла после пайки.

Рассмотренные конструкции приспособлений экономически выгодно применять в серийном производстве при установившейся номенклатуре узлов.

В опытном производстве в процессе освоения новых изделий и при малых партиях узлов более экономичным является применение универсальных приспособлений с переставными быстросъемными фиксаторами.

Общий вид универсального приспособления с установленной на нем секцией алюминиевого волновода показан на рис. 23. Передвижной кронштейн и съемный фиксатор этого приспособления удерживают трубу и фланцы в удобном положении при пайке с нагревом ТВЧ, а также при нагреве газовыми горелками.

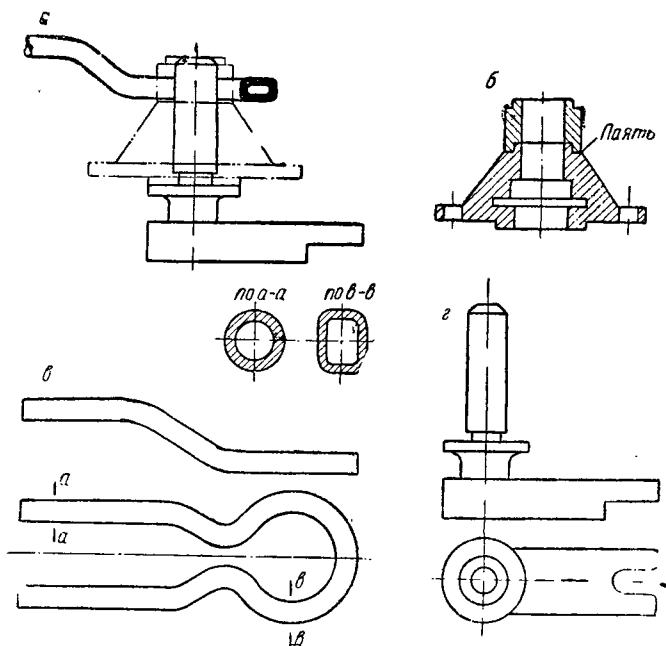


Рис. 22. Оснастка для пайки втулок с фланцами.

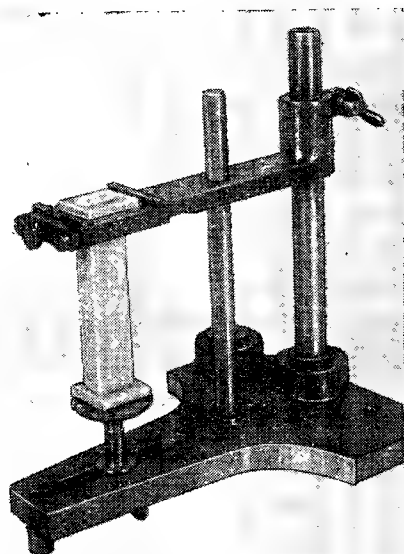


Рис. 23. Универсальное приспособление.

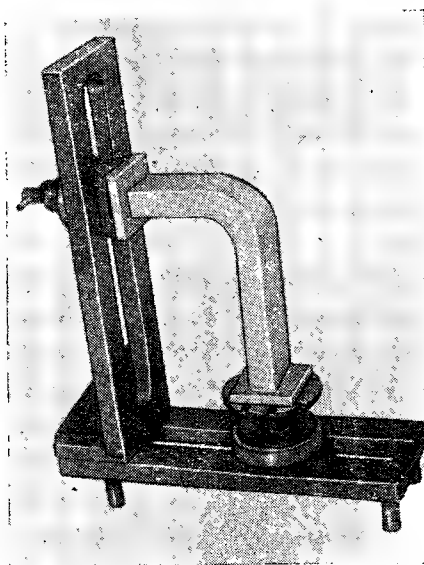


Рис. 24. Универсальное приспособление для пайки угловых переходов.

Небольшая переналадка, состоящая в замене фиксатора и снятии передвижного кронштейна, позволяет на этом же приспособлении выполнять пайку волноводных секций в виде сдвоенных коротких труб с двумя или одним фланцем и ряда других типовых узлов.

Типовая конструкция универсального приспособления для пайки угловых переходов показана на рис. 24.

Детали всех этих приспособлений, за исключением фиксаторов и экранов, выполняют из малоуглеродистых сталей. Постоянные и сменные фиксаторы, подвергающиеся периодическому воздействию расплавленных флюсов и температуре, изготавливают из жаростойких или нержавеющей сталей. Экраны изготавливают из меди или графита.

В ряде случаев для пайки алюминиевых узлов успешно используют приспособления, выполненные из шифер-асбеста, а также в комбинации его с указанными выше материалами.

Технология пайки алюминиевых узлов

Независимо от марки материала деталей, соединяемых в узел, технологический процесс пайки с нагревом ТВЧ состоит из ряда последовательных операций, от тщательности выполнения которых зависит качество паяных швов. Очередность и содержание этих операций заключаются в подготовке деталей перед пайкой, сборке их в узлы, пайке, удалении остатков флюса.

Рассмотрим содержание каждой из этих операций применительно к пайке ответственных узлов радиоаппаратуры из алюминия и его сплавов.

Подготовка деталей перед пайкой. Алюминиевые детали, поступающие на пайку, тщательно очищают от жира и краски органическими растворителями. После этого их подвергают кратковременному, не более 1 мин., химическому обезжириванию в 5—8-процентном растворе едкого натра при температуре 50—60° С, затем промывают в воде и осветляют в 30-процентном растворе азотной кислоты, повторно промывают в проточной холодной и горячей воде и сушат.

Пайку очищенных деталей следует производить не позднее 5—8 час. с момента обезжиривания.

Сборка деталей в узлы. Подготовленные к пайке детали собирают в узлы на соответствующих приспособлениях. Особое внимание при этом уделяется проверке установочных размеров и их соответствие чертежу. Кроме этого, проверяют наличие зазоров, фасок и технологических припусков.

При установке деталей на приспособления строго соблюдают чистоту, полностью исключая попадание пыли и жира как на детали, так и на приспособления.

Пайка. В зависимости от конструкции деталей, входящих в узел, пайку можно осуществить при прямом, косвенном или комбинированном нагреве.

При прямом нагреве равномерный нагрев различных по толщине деталей осуществляется непосредственно от индуктора за счет различных зазоров между индуктором и деталями.

При косвенном нагреве прогрев деталей, соединяемых пайкой, происходит за счет теплопроводности от приспособления, интенсивно нагреваемого ТВЧ.

Для комбинированного нагрева (рис. 25) характерно, что прямой и косвенный нагревы осуществляются одновременно,

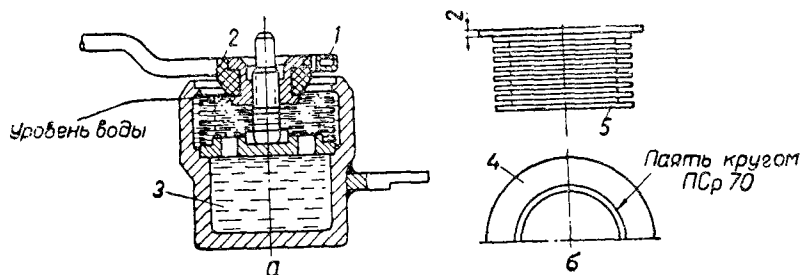


Рис. 25. Комбинированный нагрев:

а — положение индуктора и приспособления; б — узел, подлежащий пайке;
1 — индуктор; 2 — вкладыш из графита; 3 — вода; 4 — кольцо; 5 — камера.

с применением охлаждения отдельных элементов деталей, подлежащих пайке. Как видно из рис. 25, а, кольцо толщиной 2 мм подвергается прямому нагреву: буртик камеры со стенкой толщиной 0,12 мм нагревается косвенно за счет теплопроводности от графитового вкладыша, а остальная часть камеры охлаждается водой, залитой в приспособление до уровня, указанного на рисунке. Это позволяет получить качественную пайку узла, не нарушая упругих свойств камеры, что невозможно при нагреве пламенем газовой горелки или при других известных способах пайки.

При выборе метода нагрева конструктор должен учитывать, что наиболее эффективным по времени и простоте конструкции приспособления, как правило, является метод прямого нагрева. Сделав выбор способа нагрева и соответственно подготовив высокочастотный генератор, приступают к нагреву и пайке, соблюдая следующую очередность переходов:

детали, установленные на приспособлении, вводят в индуктор и нагревают до температуры плавления флюса;

не прекращая нагрева с помощью фарфорового шпателя, разогретого прутка припоя или отрезка нихромовой проволоки толщиной 1,5—2 мм на шов наносят флюс и после его расплавления профлюсовывают весь периметр шва;

после того как температура нагрева деталей превысит точку плавления припоя на 30—50°С, на шов с прутка или в виде дозированной заготовки подают припой;

когда припой заполнит зазор отрезком нихромовой проволоки, проводят вдоль всего шва, удаляют шлаки и выключают нагрев; узел вместе с приспособлением выводят из рабочей петли индуктора и после затвердевания припоя снимают с приспособления.

Охлаждение паяных узлов производят медленно, укладывая их на теплоизоляционные плиты из шифер-асбеста или шамота.

При нагреве алюминиевых деталей ТВЧ газовыми горелками и другими способами нагрева, кроме пайки в соляных ваннах, контроль за температурой нагрева деталей производится лишь визуально по началу плавления флюса или припоя, с заведомо известными температурами плавления.

Известный способ контроля за температурой нагрева алюминиевых деталей, заключающийся в появлении на их поверхности черного следа после проведения по ней деревянной палочкой, весьма недостаточен. Дело в том, что уже при 200°C и всех вышележащих температурах на поверхности металла будет оставаться черный след после касания деревянной палочкой.

Поэтому еще в процессе экспериментальной разработки технологии пайки легких металлов на алюминиевой и магниевой основе для контроля температуры нагрева деталей были широко применены термокраски, изменение цвета которых наступает строго при определенной температуре. Простота и надежность этого способа контроля температуры нагрева позволяет рекомендовать его для широкого промышленного освоения. Термокраски выпускают в виде набора карандашей (рис. 26).

С применением термокрасок температуру нагрева деталей при пайке определяют по изменению цвета пометки соответствующего термокарандаша, предварительно нанесенного на поверхность деталей в зоне, удаленной на 10—20 мм от места пайки.

Процесс пайки алюминия обычно сопровождается выделением газообразных продуктов разложения флюсов, вредных для здоровья людей, поэтому его необходимо вести при наличии хорошей вентиляции с бортовым отсосом.

Удаление остатков флюса. Флюсы, применяемые для твердой пайки алюминия, являются сильно коррозирующими, и остатки их вызывают быструю коррозию паяных узлов.

Предотвратить коррозию удастся только при тщательной отмывке остатков флюсов, которая производится не позднее чем через 1,5—2 часа после пайки. Для этого паяные узлы погружают в горячую проточную воду с температурой $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$ и неоднократно, на протяжении 8—10 мин., протирают места пайки жесткой волосяной щеткой с последующим прополаскиванием в воде.

Затем узлы погружают в ванну с холодной проточной водой, где они промываются на протяжении 15—20 минут.

Очень часто алюминиевые узлы после пайки подвергают механической обработке, в процессе которой происходит повреждение

монолитной литейной корки на швах. В этих случаях необходима повторная отмывка флюса, находящегося во вскрытых порах паяного шва.

Проверка качества отмывки производится с помощью 2-процентного раствора азотнокислого серебра, которое наносится на швы каплями. Присутствие остатков флюса вызывает немедленное выпадение белого осадка в каплях этого раствора. Азотнокислое серебро после проверки отмывают в горячей воде, а паяные узлы подвергают сушке при температуре 100—120° С.



Рис. 26. Термокарандаши для контроля температуры нагрева.

Качество пайки проверяется тщательным внешним осмотром и контролем герметичности шва.

Внешний осмотр производится с помощью лупы с увеличением $\times 4$ — $\times 10$. Места паяк должны иметь ровные галтели без газовых и шлаковых включений, каплевидных наплывов, непропая и проплавов основного металла.

Испытание швов на герметичность производится под давлением воздуха или жидкости по условиям, оговоренным на чертеже.

В заключение отметим, что нагрев ТВЧ успешно используется для пайки деталей из цветных и черных металлов самой различной конфигурации и размеров (рис. 27).

Наконец, скажем несколько слов о паяных соединениях на алюминии и его сплавах применительно к электрохимической обработке изделий, повышающей стойкость против коррозии.

При анодировании или фосфатном оксидировании алюминиевых узлов паяные швы растрескиваются, что может привести к снижению прочности и потере герметичности соединений. Это не относится к припоям П590А и П575А, которые хорошо прина-

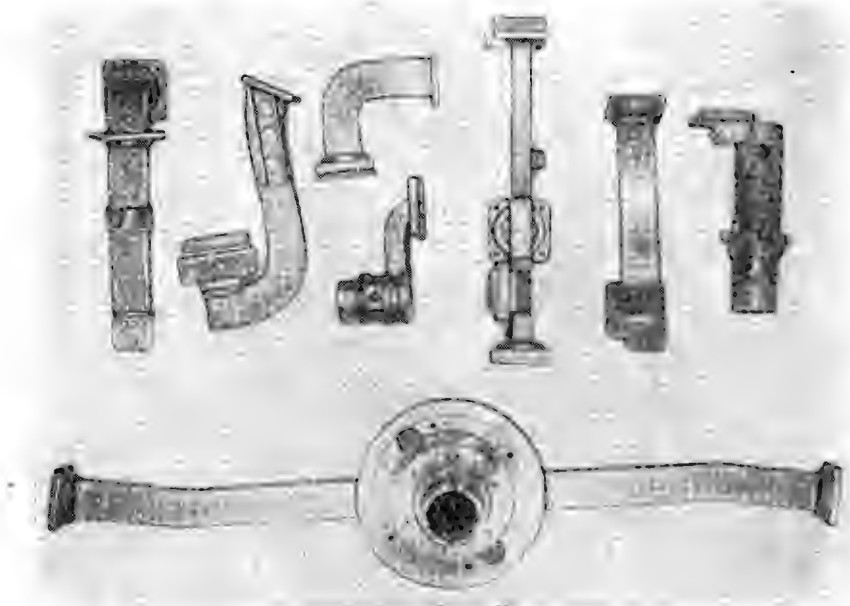


Рис. 27. Алюминиевые узлы, запаянные с нагревом ТВЧ.

мают анодирование и фосфатирование. Для узлов, паянных всеми другими припоями, необходимо перед анодированием паяные швы защищать пленкой кислотоупорного лака. Хорошие результаты дает лак АК-20 (ТУ МХП 720 — 41) или лак марки ХВЛ-21 (ТУ МХП В2497—51), которые после покрытия легко смываются ацетоном.

Глава 5

ПАЙКА АЛЮМИНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

В последнее время при лужении и пайке алюминия мягкими припоями с температурами плавления в интервале $150\text{--}300^\circ\text{C}$ удаление окисной пленки производится с помощью ультразвуковых паяльников и ванн.

Сущность явлений, происходящих при ультразвуковом лужении, сводится к следующему. Излучаемые рабочим носком паяльника знакопеременные волновые давления, чередующиеся с частотой $18\text{--}22\text{ кгц}$, вызывают периодические растяжения и сжатия частиц жидкого припоя. В местах наибольшей интенсивности облучения растяжения влекут за собой кавитацию жидкого припоя, т. е. разрывы между его частицами; эти разрывы мгновенно заполняются воздухом или газом, имеющимся в припое, образуя мельчайшие пузырьки. За растяжением наступает сжатие частиц расплавленного припоя, и пузырьки немедленно после образования сжимаются, а затем захлопываются. Сжатие пузырьков вызывает повышение в них давления до сотен атмосфер, а их захлопывание сопровождается весьма большими ударными импульсами на окружающий их жидкий припой, а также на поверхность алюминиевых деталей, вызывая разрушение окисной пленки. Раздробленные частицы окисной пленки, обладающие меньшим удельным весом, всплывают на поверхность припоя, который беспрепятственно облуживает очищенную поверхность металла.

Процесс ультразвукового лужения выгодно отличается от механического удаления окисной пленки шабером, так как в последнем случае нельзя гарантировать повсеместное облуживание поверхности и трудно механизировать операцию лужения. При ультразвуковом лужении в ваннах достигается повсеместное удаление окисной пленки, высокое качество лужения при резком увеличении производительности труда и легко решаются вопросы механизации процесса.

В отличие от пайки с применением некоррозионного флюса Ф59А, который эффективен только для деталей из алюминия и лишь одного из многочисленных его сплавов—АМц, пайка с применением ультразвука остается незаменимой при соединении

деталей из всех деформируемых и литейных алюминиевых сплавов.

Для возбуждения в жидком припое колебаний надлежащей частоты при ультразвуковой пайке используют ламповые генераторы с электромеханическими преобразователями, в качестве которых обычно применяют магнитострикционные вибраторы.

Принципиальная схема подобного устройства применительно к лужению паяльником или в ванне приведена на рис. 28.

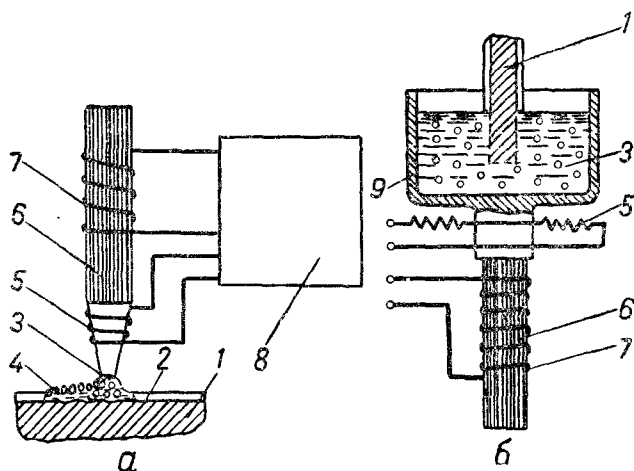


Рис. 28. Схема лужения с применением ультразвука:

а — паяльником; б — в ванне; 1 — алюминий; 2 — окисная пленка; 3 — припой; 4 — раздробленные частички окисной пленки; 5 — обмотка нагревателя; 6 — вибратор; 7 — обмотка возбуждения; 8 — ламповый генератор; 9 — корпус ванны.

На стержень, изготовленный из материала, обладающего большой магнитострикцией, надета обмотка возбуждения, питаемая от лампового генератора. К торцу вибратора жестко прикреплен стержень паяльника или ванна.

Нагрев паяльника и ванны осуществляется с помощью обмотки из нихромового провода, которая питается от обычной сети через понижающий трансформатор.

Эффект магнитострикции не зависит от направления тока в обмотке возбуждения, но во избежание удвоения частоты вибратор поляризуется постоянным магнитным полем. Поэтому к обмотке возбуждения, кроме переменного, подводится еще и постоянный ток.

Переменное магнитное поле, создаваемое обмоткой возбуждения, вызывает в вибраторе попеременно в такт с частотой тока, питающего обмотку возбуждения, сжимающие и растягивающие стержень усилия.

Распространяющиеся при этом упругие продольные волны излучаются через стержень паяльника или корпус ванны в расплавленный припой.

Аппаратура для ультразвуковой пайки

В области проектирования и изготовления образцов ультразвуковой аппаратуры для лужения и пайки алюминия в последние годы значительная работа проведена Научно-исследовательским технологическим институтом.

Отдельные образцы этой аппаратуры выпускаются серийно и уже используются на ряде промышленных предприятий.

Для лужения мелких деталей настройки в алюминиевых волноводах, а также лепестков и тонких алюминиевых проводов применяется малогабаритная ультразвуковая ванна или паяльник УП-21, общий вид которых показан на рис. 29 и 30.

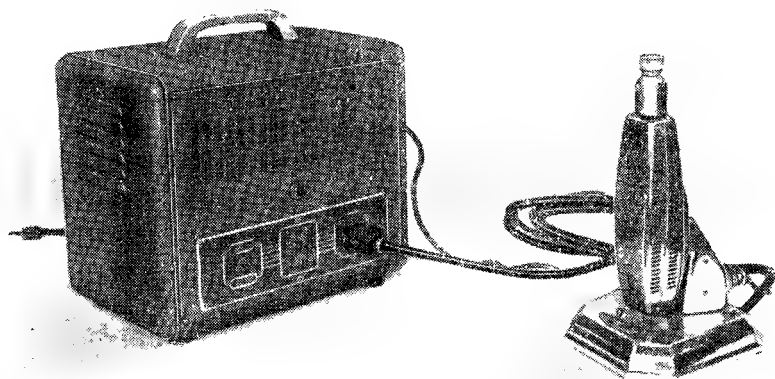


Рис. 29. Ультразвуковая ванна УП-21.

Ванна и паяльник работают от одного и того же генератора, но подключаются к нему не вместе, а поочередно.

Лужение относительно больших деталей производится на установке УП-31 (рис. 31), которая не имеет паяльника и отличается от УП-21 повышенной мощностью генератора и резко увеличенными габаритами ванны.

В последнее время разработан и передается на серийное производство ультразвуковой паяльник модели УП-42, который по сравнению с УП-21 отличается повышенной мощностью нагревательного элемента, а также существенным усовершенствованием элементов подстройки частоты. Общий вид генератора и паяльника УП-42 показан на рис. 32.

Опыт эксплуатации паяльников и ванн УП-21 показал, что настройка их была далеко несовершенной, занимала значительное время и не отличалась стабильностью.



Рис. 30. Ультразвуковой паяльник УП-21.



Рис. 31. Ультразвуковая установка для лужения, модель УП-31.

Поэтому в паяльнике УП-42 элементы настройки запроектированы в более совершенном конструктивном варианте и перенесены с магнитострикционного вибратора на генератор. В результате чего подстройка частоты до получения интенсивных колебаний на вибраторе осуществляется на ходу и в очень корот-

кое время с, помощью специальной ручки, расположенной на лицевой панели генератора.

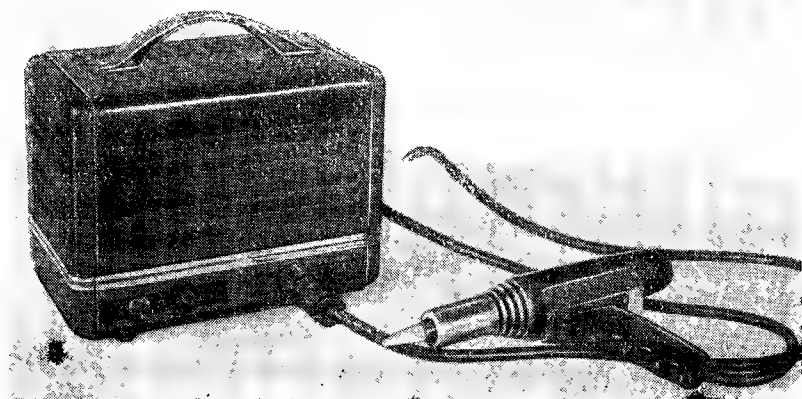


Рис. 32. Генератор и паяльник модели УП-42.

Краткая техническая характеристика используемой в приборостроении ультразвуковой аппаратуры для бесфлюсового лужения алюминиевых деталей приведена в табл. 24.

Таблица 24

Техническая характеристика аппаратуры

Наименование	УП-21	УП-31	УП-42
Рабочая частота, <i>кГц</i> . . .	20	20	23—26
Мощность генератора, <i>вт</i> .	40	300	30
Мощность нагревательного элемента, <i>вт</i>	100	500	170
Источник питания	сеть переменного тока 110—127—220 в, 50 <i>Гц</i>	сеть переменного тока 220 в, 50 <i>Гц</i>	сеть переменного тока 220 в, 50 <i>Гц</i>
Габаритные размеры, <i>мм</i>			
генератора	332×310×250	450×310×263	250×235×180
ванны	288×200×162	360×205×296	—
рабочего пространства ванны	Ø 25; глубина 10	100×100×25	—
паяльника	300×170×50	—	260×150×45
Вес, <i>кг</i> генератора	14	28	11
ванны	1,7	14	—
паяльника	1	—	0,9

Лужение и пайка деталей с применением этой аппаратуры производится лишь мягкими припоями марок П150А, П170А, П200А, П250А и П300А, температура плавления которых не превышает 300°С. Время, необходимое для приведения установок в рабочее состояние, составляет: для паяльника и ванны УП-21 — 15 мин., для УП-31 порядка 25—30 мин. и для паяльника УП-42 8—10 минут.

Технология лужения и пайки

В отличие от обычных способов бесфлюсовая пайка с применением ультразвука производится с предварительным лужением соответствующих поверхностей на каждой отдельной детали, входящей в узел. Назначение ультразвуковых паяльников и ванн как раз и сводится к обеспечению предварительного лужения алюминиевых деталей без применения каких-либо флюсов. В самом же процессе пайки ранее облуженных деталей нет необходимости в применении ультразвука и она легко выполняется обычными способами.

Технологический процесс лужения и пайки состоит из ряда последовательных операций: подготовки деталей перед пайкой, лужения, пайки и контроля.

Аналогично деталям, подвергаемым пайке твердыми припоями с флюсами, к деталям, поступающим на лужение мягкими припоями, предъявляются все вышеперечисленные требования технологичности, очистки от пыли, краски и жира, а также обеспечения необходимых зазоров.

Кроме этого, все детали перед лужением в ультразвуковой ванне с целью защиты от повсеместного облуживания необходимо подвергнуть анодированию. Экспериментально проверено, что полученная в этом случае сравнительно толстая оксидная пленка служит надежной защитой от облуживания всей поверхности детали; места, подлежащие лужению, необходимо зачистить шабером, металлической щеткой или напильником. Вместо механической зачистки можно применять покрытия лаком АК-20 (ТУМХП-720 — 41) или ХВЛ-21 (ТУМХП В2497 — 51), которые надежно защищают места лужения от анодирования, а после анодирования перед лужением лаки удаляют путем промывки деталей в ацетоне.

Эффективность применения защиты поверхностей от облуживания предварительным анодированием легко показать на конкретных деталях.

При больших партиях алюминиевых втулок, соединяемых пайкой с экранами, пояски на втулках выгодно лудить лишь в ванне, так как применение паяльника сопряжено здесь с большой затратой времени. Если втулки окунать в ванну без защиты, облуживание их произойдет по всей поверхности, что изменит декоративный вид и резко увеличит расход припоя. Применение

предварительного анодирования с последующей зачисткой мест лужения исключает все эти недостатки.

Другим примером обязательного анодирования всей поверхности и последующей зачистки отдельных участков ее под лужение в ванне являются резьбовые детали настроечных элементов волноводов.

В зависимости от конструктивных форм и размеров деталей лужение их производится паяльником или в ультразвуковой ванне с расплавленным припоем.

Следует отметить, что при работе в ванне достигается высокая производительность и качество лужения при сравнительно низкой квалификации оператора. Лужение деталей паяльником менее производительное и качество его в значительной мере зависит от мастерства оператора.

В процессе лужения применение каких-либо флюсов недопустимо, так как это приводит к полному прекращению процесса и требует обязательной зачистки и залуживания носка паяльника. Частая зачистка паяльника способствует его быстрому износу. Поэтому облуживание носка паяльника следует производить в случае работы новым паяльником или при переходе на другой сильно отличающийся по составу припой.

Очередность переходов при лужении деталей в ультразвуковой ванне необходимо соблюдать в следующем порядке:

1. Нагреть детали до температуры плавления припоя. При отсутствии у исполнителя достаточных производственных навыков температуру нагрева деталей следует контролировать по изменению цвета пометки термокарандашом, предварительно нанесенной на поверхности деталей в зоне, удаленной на 10—20 мм от места лужения и пайки.

2. Включить нагрев ультразвуковой ванны.

3. После расплавления и подогрева припоя в ванне снять шлак и включить ультразвуковой контур.

4. Погрузить детали на 5—30 сек. в расплавленный припой. Оптимальное время выдержки устанавливается опытным путем для каждого типоразмера деталей.

5. Вынуть детали из ванны, стряхнуть или обтереть чистой сухой ветошью излишки припоя.

6. Проверить качество лужения.

Очередность переходов при лужении ультразвуковым паяльником также необходимо соблюдать в таком порядке:

1. Нагреть детали до температуры плавления припоя.

2. Включить нагрев ультразвукового паяльника.

3. Облудить носок паяльника соответствующим припоем (для этого зачистить носок напильником или шабером и быстро, во избежание окисления, окунуть в расплавленный припой и включить ультразвуковой контур).

Лудить деталь, совершая плавные возвратно-поступательные движения паяльником без нажима на облуживаемую поверх-

ность. Расход припоя следует периодически пополнять, набирая припой на носок паяльника теми же приемами, что и при работе обычным электропаяльником, но предварительно выключая ультразвуковой контур.

Стряхнуть или обтереть чистой сухой ветошью излишки припоя и частички раздробленной окисной пленки.

Проверить качество лужения. При осмотре невооруженным глазом луженая поверхность должна иметь однотонный блеск без темных пятен и наплывов припоя. Качество лужения зависит также от настройки ультразвуковой аппаратуры. Для проверки настройки необходимо сразу же после лужения первой детали тампоном ваты или ветошью полностью стереть с облуженной поверхности жидкий припой. Луженая поверхность при нормальной настройке даже после неоднократного стирания припоя имеет характерный блеск со следами разрушения, внешний вид которых напоминает шероховатости, возникающие на металлах после пескоструйной обработки.

Луженые детали необходимо хранить в сухом помещении, чтобы исключить попадание на них пыли и жиров, а последующую пайку деталей в узлы следует производить не позднее 15 дней с момента лужения.

Алюминиевые детали, предварительно луженые с применением ультразвука, паяют теми же приемами, что и детали из меди и ее сплавов, луженые оловянно-свинцовыми припоями марок ПОС.

При пайке алюминиевых деталей, луженых с применением ультразвука, с деталями из латуни, бронзы, меди и других металлов последние следует облудить теми же припоями, что и алюминий, но с применением обычных способов лужения и известных некоррозионных флюсов.

Время нагрева деталей в процессе пайки необходимо предельно сокращать во избежание окисления припоя, нанесенного на поверхность деталей при лужении.

Качество паяных соединений проверяется тщательным внешним осмотром и физико-механическими методами контроля, предусмотренными техническими условиями на данные узлы.

Пайка с применением ультразвука мягкими припоями в дополнение к уже освоенной твердой пайке с флюсами полностью решает комплекс вопросов технологии пайки деталей из алюминия и его сплавов.

В производстве электро- и радиоаппаратуры создаются все возможности для широкой замены тяжелых сплавов на основе меди более легкими и технологичными сплавами на алюминиевой основе.

Глава 6

ПАЙКА В СОЛЯНЫХ ВАННАХ

Процесс пайки в соляных ваннах состоит в том, что подготовленные и собранные в узел детали с уложенными на швы дозированными заготовками припоя устанавливают на приспособления и после предварительного подогрева погружают в ванну с расплавленными солями.

В соляной ванне происходит дальнейший нагрев деталей до температуры пайки при одновременном удалении с их поверхности окисных пленок.

Применительно к деталям из черных металлов процесс пайки в соляных ваннах известен давно и с большим успехом применяется на заводах ВЭФ, ГАЗ и ряде других машиностроительных предприятий.

Что касается технологии пайки деталей из меди, алюминия и их сплавов, то пайка в соляных ваннах была мало изученной областью и до последнего времени не только в приборостроении, но вообще в отечественном машиностроении не находила применения.

В последние годы в результате проведенных исследований установлена возможность и разработаны производственно-технологические рекомендации на процессы пайки в соляных ваннах деталей из цветных металлов.

Теперь имеются все условия для широкого внедрения в производство деталей аппаратуры из цветных металлов высокопроизводительного технологического процесса пайки в соляных ваннах.

Прежде чем перейти к описанию технологии, рассмотрим вопросы пайки латунных и алюминиевых узлов применительно к выбору оборудования, технологической оснастки, состава соляных ванн и используемых припоев.

Оборудование, оснастка и состав солей для пайки латунных узлов

Для пайки латунных узлов в расплавленных солях можно использовать соляные ванны, применяемые для термической обработки инструмента и деталей, в том числе электрические печиванны типов В-10, В-20, В-30 и соляные электродные однофаз-

ные и трехфазные печи типов С-20, С-25, С-35, С-45, и С-75, снабженные терморегуляторами.

Технические характеристики этих ванн представлены в табл. 25, 26 и 27.

Т а б л и ц а 25

Технические характеристики электрических печей-ванн

Параметры	Единица измерения	Тип печи		
		В-10	В-20	В-30
Рабочие размеры тигля:				
диаметр	мм	200	300	400
глубина	"	350	535	555
Номинальная мощность . . .	квт	10	20	30
Напряжение	в	220	220	220/380
Число фаз	—	1	1	1/3
Схема соединения нагревателей	—	последовательно	последовательно	последовательно, "звезда"
Максимальная рабочая температура в тигле	°С	850	850	850
Эксплуатационные данные:				
мощность холостого хода	квт	6	7	9
техническая производительность	кг/час	30	80	130
вес печи	т	1	1,4	1,8

Программа выпуска изделий и габариты узлов, подлежащих пайке, предопределяют выбор типа печи-ванны и ее техническую производительность.

Для рассмотренных типов печей производительность указана с учетом нагрева приспособлений, погружаемых в ванну вместе с соединяемыми деталями.

Производительность процесса и рентабельность использования соляных ванн для пайки изделий во многом зависит от применяемых приспособлений. Исходя из этого, вопросам проектирования приспособлений для пайки в соляных ваннах должно быть уделено серьезное внимание.

Таблица 26

**Технические характеристики соляных электродных
однофазных печей**

Параметры	Едини- ца из- мере- ния	Тип печи		
		С-20	С-25	С-45
Размеры рабочего простран- ства:				
диаметр	мм	220	380	340
глубина	"	460	475	600
Номинальная мощность . . .	квт	20	25	45
Число фаз	—	1	1	1
Напряжение на электродах .	в	17,5—5,5	17,5—5,5	17,5—5,5
Первичное напряжение транс- форматора	в	380 или 220		
Максимальная рабочая тем- пература	°С	1300	850	1300
Эксплуатационные данные при максимальной рабочей температуре:				
мощность холостого хода	квт	10	15	20
техническая производи- тельность	кг/час	90	90	200
вес ванны с футеровкой	кг	1700	1250	2400

Таблица 27

**Технические характеристики соляных электродных
трехфазных печей**

Параметры	Единица измерения	Тип печи	
		С-35	С-75
Размеры рабочего пространства:			
расстояние между противо- положными гранями	мм	220	340
глубина	"	420	580
Номинальная мощность	квт	35	75
Число фаз	—	3	3
Напряжение на электродах . . .	в	24—8	17,6—5,5
Первичное напряжение транс- форматора	"	380 или 220	
Максимальная рабочая темпера- тура	°С	1300	1300
Эксплуатационные данные при 1300°С:			
мощность холостого хода .	квт	15	25
техническая производи- тельность	кг/час	30	55
вес печи с футеровкой . . .	кг	850	1550

Конструктивное оформление одноместного и двухместного приспособления для пайки типовых латунных узлов показано на рис. 33.

В отдельных деталях этих приспособлений с целью уменьшения массы металла, загружаемого в ванну, высверлен ряд отверстий.

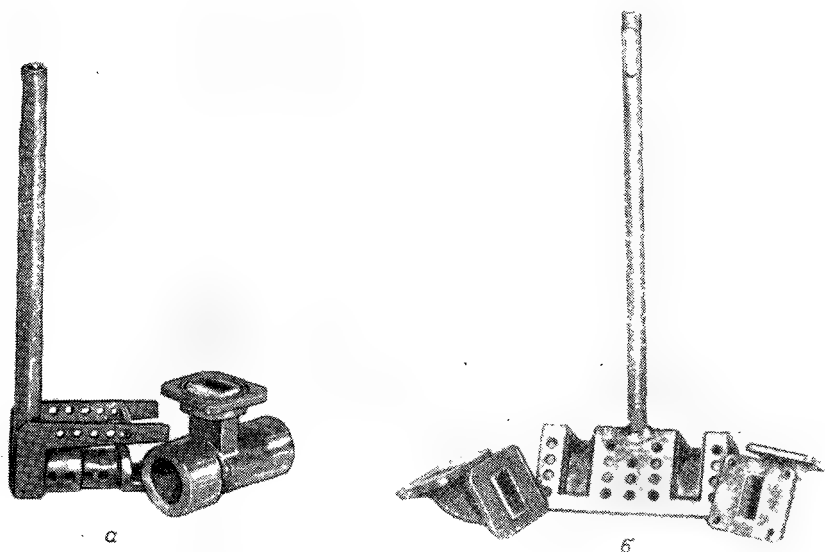


Рис. 33. Приспособления для пайки латунных узлов:
а — одноместное, б — двухместное.

Материалом для изготовления таких приспособлений обычно служат малоуглеродистые стали марок 10, 15, 20, которые хорошо поддаются сварке.

Для некоторых типов узлов взамен приспособлений можно использовать раскерновку или прихватку деталей точечной сваркой, что обеспечивает неподвижность и требуемое взаиморасположение паяемых деталей при погружении в соляную ванну.

Очевидно, что в этом случае исключаются затраты, связанные с изготовлением приспособлений, снижается время пайки, а также расход энергии на нагрев.

При образовании межкуристаллической формы связи, которая имеет место при пайке, огромное значение имеют явления капиллярности, поверхностного натяжения жидкого припоя и взаимные диффузионные процессы между твердым металлом и жидким припоем.

Отсутствие на поверхности металла загрязнений и окисной пленки резко снижает поверхностное натяжение припоя и благоприятно сказывается на развитии всех других явлений. В отличие от обычных способов пайки, где окисная пленка удаляется с помощью флюсов, при пайке в печах-ваннах расплавы солей одновременно выполняют двойную роль — флюса и теплоносителя.

С целью предотвращения всплывания припоя расплавы солей должны обладать меньшим удельным весом.

Экспериментальная проверка показала, что при пайке латунных узлов перечисленным требованиям удовлетворяет ряд применяемых в технике рецептур соляных ванн (см. табл. 28).

Т а б л и ц а 28

Рецептура соляных ванн для пайки латунных узлов

Химический состав ванны, %				Температура, °С	
NaCl	CaCl ₂	BaCl ₂	KCl	плавления	рабочая максимальная
27,5	72,5	—	—	500	870
50	50	—	—	505	870
21	48	31	—	435	850
35	25	—	40	553	870
—	50	50	—	595	850

Для повышения флюсующих свойств этих солей в их состав необходимо добавлять буру в количестве от 4 до 6%.

В качестве припоев для пайки латунных узлов в перечисленных выше составах солей применяются лишь твердые серебряные припои марок ПСр 40, ПСр 45, ПСр 70 и др., температура начала плавления которых не менее чем на 100°С превышает начало плавления солей.

Оборудование, состав солей и припои для пайки алюминия

Фтористые соединения играют решающую роль в растворении окисной пленки при пайке алюминия. Однако фторсодержащие расплавы взаимодействуют с материалом тигля и разъедают его, а сами перестают оказывать активное действие на пленку окиси алюминия.

В серийном производстве для пайки алюминия может быть использована любая модернизированная тигельная печь с внешним электрическим обогревом.

Модернизация печи сводится к замене материала тигля на инконель* или алюминий. Кроме инконеля и алюминия, самым стойким материалом для плавки солей являются корундизовые тигли с кажущейся пористостью 7—10%. Но отсутствие корундизовых тиглей требуемых размеров, трудности в использовании корундиза для изготовления приспособлений и относительно высокая стоимость сильно ограничивают его применение.

На рис. 34 показан вариант печи-ванны для пайки алюминиевых узлов с тиглем из листового алюминия марки А00. Во избежание «проседания» алюминиевого тигля под тяжестью расплавленных солей он помещен в тигель из нержавеющей стали.

Контроль за температурой соляной ванны осуществляется с помощью терморегулятора, состоящего из электронного автоматического потенциометра типа ЭПД-17 и термопары стандартной градуировки ХА или ХК, которая помещена в чехол из алюминия.

Не только расплавленные соли, но и их пары отличаются сильной коррозионной активностью, поэтому при изготовлении вытяжного шкафа над ванной необходимо в

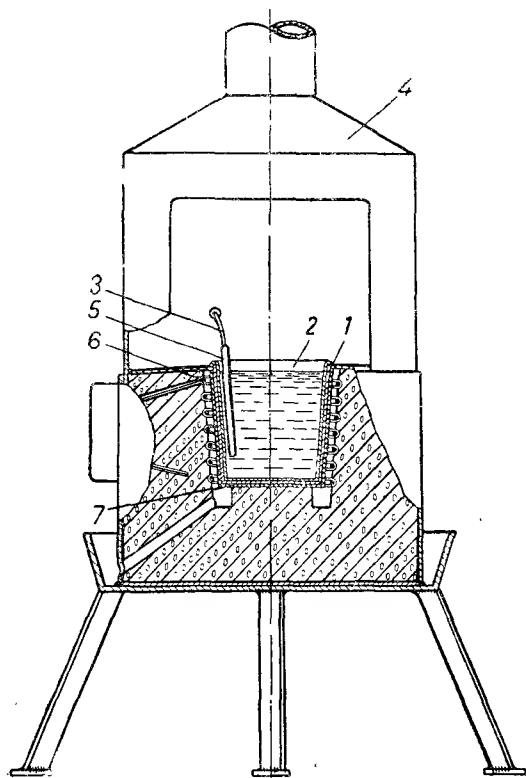


Рис. 34. Электропечь-ванна для пайки:

1 — тигель из стали IX18H9T; 2 — тигель из алюминия А00; 3 — термопара; 4 — вытяжной шкаф; 5 — чехол термопары из А00; 6 — электронагреватель; 7 — асбестовая футеровка.

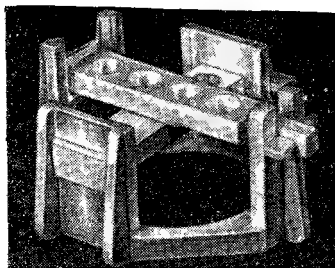
качестве материала использовать листовой алюминий. Шкафы, изготовленные из кровельного железа, быстро выходят из строя, а обильная ржавчина, осыпаясь, попадает в расплав солей и лишает их флюсирующих свойств.

В процессе освоения пайки алюминия в соляных ваннах одной из ответственных задач является проектирование приспособлений и выбор материала для их изготовления.

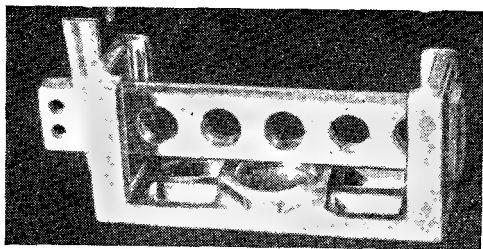
* Химический состав (в процентах): Cr 12—15; Ni 75—78; Fe 6—9; Mn 1; C 0,15; Si 0,5; Cu 0,5.

Кроме общих требований, которые предъявляются к приспособлениям для удержания деталей в заданном положении при газопламенной пайке и пайке ТВЧ, проектирование приспособлений для пайки в соляных ваннах необходимо производить с учетом ряда дополнительных требований.

Прежде всего приспособление должно представлять жесткую конструкцию при минимальном весе. Снижение веса диктуется тем, что при периодическом погружении в ванну на нагрев приспособления бесполезно расходуется энергия, а с увеличением веса растут не только потери энергии, но и затраты времени на нагрев и охлаждение приспособления.



а



б

Рис. 35. Приспособления, изготовленные из А00 для пайки в соляной ванне: *а* — для пайки крестовины из двух труб с четырьмя фланцами; *б* — для пайки трубы с двумя фланцами и бобышкой.

Элементы приспособления необходимо запроектировать так, чтобы в момент погружения в ванну обеспечивался свободный доступ солей к местам пайки и беспрепятственное стекание их при подъеме.

Чтобы исключить возможность припайки деталей к элементам приспособления, последние удаляют от места вероятного растекания припоя или делают на них фаски, выточки и другие технологические барьеры.

Наконец, при выборе материала для изготовления приспособлений решающим служит показатель его химической стойкости против воздействия расплавленных солей.

В отличие от солей для пайки латунных деталей, которые позволяют использовать для приспособлений малоуглеродистые стали, в расплавах солей для пайки алюминия нельзя использовать приспособления из малоуглеродистых и нержавеющей сталей.

По аналогии с материалом для тиглей соляных ванн приспособления для пайки алюминия выполняют из инконеля, корундиза или алюминия.

На рис. 35 показаны типовые конструкции приспособлений для пайки секций алюминиевых волноводов в соляной ванне.

Ознакомимся теперь с расплавами солей для пайки алюминия.

Как известно, флюсы, применяемые для сварки алюминия, обеспечивают растворение окисной пленки, но вследствие высокой температуры плавления и большой активности к металлу совершенно не пригодны в качестве теплоносителей при пайке в ванне.

Флюсы, употребляемые для обычной пайки алюминия, состав которых был рассмотрен выше, также не могут быть использованы ввиду наличия в них солей цинка и кадмия, так как эти металлы в присутствии алюминия осаждаются из расплава на поверхность изделий.

Поэтому для пайки алюминия в соляных ваннах применяют хлористые соли щелочных и щелочноземельных металлов эвтектического состава с добавкой компонентов, активно растворяющих окисную пленку. Хлористые соли не растворяют окисную пленку, а являются только жидкой основой.

В расплавах солей для пайки алюминия активную роль при растворении окисной пленки Al_2O_3 играют лишь фтористые соли и в частности эвтектическое соединение $3KF \cdot AlF_3 + AlF_3$, состоящее из 54% AlF_3 и 46% KF , причем оптимальное содержание его в расплаве не должно выходить за пределы 8—12%.

В последнее время разработаны и рекомендуются к промышленному освоению при пайке алюминиевых узлов в соляных ваннах расплавы солей*, состав которых приведен в табл. 29.

Таблица 29

Состав солей

№ расплава	Температура, °C			Химический состав, %					
	начала плавления	начала затвердевания	рабочая максимальная	NaCl	KCl	LiCl	CaCl ₂	BaCl ₂	KF·AlF ₃ эвтектика
16	520	560	610	33	30	26	—	—	11
17	380	450	560	—	51	41	—	—	8
18	435	480	610	19	—	—	43	28	10
19	550	570	620	34	37	—	—	20	9

Флюсующие свойства каждого из указанных в табл. 29 расплавов зависят от ряда условий. Прежде всего, особое внимание должно уделяться технологии приготовления солей, которая, по существу, сводится к тщательному выполнению рекомендаций, оговоренных ранее в разделе «Приготовление флюсов для пайки алюминия и магния».

При недостаточной сушке исходных компонентов и наличии в них влаги происходит разложение фтористого алюминия, в ре-

* Состав солей разработали Б. А. Максимихин и М. А. Нестерова. Авторское свидетельство № 113945.

зультате чего расплав солей теряет свои флюсующие свойства. Вместе с потерей флюсующих свойств влага вызывает значительную эрозию на поверхности алюминиевых деталей.

Полагают, что при рабочей температуре вода вступает в реакцию с алюминием и образует окись алюминия, осаждающуюся на дно ванны. Освобождающийся при этом водород сгорает на поверхности расплава в виде оранжевого пламени.

Если при эксплуатации ванны наблюдаются только что рассмотренные явления, необходимо обезводить расплав с помощью алюминиевых пластин, которые погружают в ванну и выдерживают до исчезновения оранжевого пламени.

Не менее важным условием для нормальной работы ванны является предотвращение расплава от загрязнений тяжелыми металлами, периодический контроль за составом солей, своевременная очистка ванны от осадка и пополнение свежими солями.

При пайке алюминиевых узлов в соляных ваннах используют твердые припои П425А, П480А, 34А, П550А, П575А и П590А в виде дозированных заготовок. Укладка заготовок припоя по месту пайки и предупреждение их вероятного смещения от шва при погружении в ванну производятся одновременно с монтажом деталей на приспособлении.

Наличие строгого контроля за температурой нагрева деталей в соляной ванне открывает широкие возможности для использования таких тугоплавких припоев, как П575А и П590А, которые хорошо принимают анодирование без предварительной защиты паяных швов лаками. Кроме этого, автоматический контроль за температурой ванны исключает опасность проплава тонкостенных деталей.

Однако относительно высокие рабочие температуры соляных ванн исключают применение их для пайки ряда алюминиевых сплавов, чувствительных к пережогу или имеющих сравнительно низкую температуру плавления. Поэтому в соляных ваннах нельзя паять детали из Д1, Д16, В95, Д20 и АЛ2.

Технологический процесс

Процесс пайки в соляных ваннах состоит из ряда последовательных технологических операций: подготовка деталей к пайке; их сборка в узлы с одновременной закладкой дозированных заготовок припоя; предварительный нагрев, пайка погружением в соляную ванну, удаление остатков солей, контроль качества пайки.

Чистота поверхностей деталей при пайке в соляной ванне является одним из решающих факторов в обеспечении не только качества пайки, но и в сохранности флюсующих свойств у расплава солей.

Латунные или алюминиевые детали, поступающие на пайку предварительно, сверяются с чертежами, причем особое внима-

ние уделяется правильности подгонки сопрягаемых элементов, отсутствию заусениц, наличию в соединениях требуемых зазоров, фасок и технологических припусков.

Наряду с обезжириванием деталей в органических растворителях, удаляющих маркировочную краску, пыль и консервирующую смазку, детали подвергают кратковременному химическому травлению по соответствующей технологии. Для предотвращения повторного загрязнения транспортировку обезжиренных деталей на участок пайки следует производить в закрытой таре.

Сборка деталей в узлы и закладка припоя производится на соответствующих приспособлениях, свободных от влаги, жира и остатков солей. На рабочих столах, где производится сборка, не должно быть металлической стружки, мелких опилок тяжелых металлов и других загрязнений.

Припой в виде дозированных заготовок закрепляют между паяемыми поверхностями или накладывают непосредственно на швы. Для предупреждения смещения припоя, уложенного на стыках паяемых деталей, применяют прихватку с помощью сварки, а в ряде случаев и подвязку тонким шнуром из асбеста или стеклоткани.

Предварительный нагрев приспособления с установленными на них паяемыми деталями осуществляется в электрических печах Н-15, ПН-31Б и других подобных типах печей, которые устанавливаются в непосредственной близости от печи-ванны. Температура предварительного подогрева деталей составляет 400—500° для алюминия и 500—600° С для латуни, а время на подогрев, зависящее от массы загружаемого металла и температуры в печи, определяется для каждого типоразмера деталей и оснастки опытным путем.

С применением подогрева оснастки с деталями в обычной электропечи исключается попадание в соляную ванну влаги, снижается степень коробления деталей, уменьшается время на процесс пайки и создаются условия для стабильности теплового баланса печи-ванны. В этом случае от расплава солей при каждом погружении деталей отбирается сравнительно небольшое количество тепла.

После подогрева детали быстро переносятся и погружаются в расплав солей, рабочая температура которого должна лежать в интервале 560—620° для пайки алюминия и 800—860° для пайки меди и ее сплавов.

Время выдержки деталей в ванне обычно не превышает одной-трех минут, и для каждого конкретного случая его оптимальное значение легко определить опытным путем.

Очевидно, что при пайке в соляных ваннах наблюдение за началом плавления припоя и его растеканием вдоль швов полностью исключено, поэтому контроль за ходом процесса производится исключительно по заведомо известным температуре расплава и времени выдержки.

Зная эти основные параметры, а также располагая данными о теплостойкости и весах металлов, загружаемых в ванну, можно наперед рассчитать режимы пайки, оформив их в виде таблицы или графика.

Узлы, извлекаемые из расплава до стока излишка солей, выдерживают 10—20 сек. над ванной, а затем охлаждают на воздухе, снимают с приспособлений и, погрузив в горячую проточную воду с температурой 60—90° С, производят тщательное удаление остатков солей теми же приемами, которые рассмотрены ранее при отмывке остатков флюсов в разделе пайки алюминия с нагревом ТВЧ.

Использованные приспособления сразу же после снятия паяных узлов также подвергаются отмывке от остатков солей.

Во избежание развития быстрой коррозии на алюминиевых узлах, которые после пайки подвергаются механической обработке, вызывающей нарушение литой корки на паяных швах, необходима повторная отмывка солей, находящихся во вскрытых порах швов. Кроме этого, для алюминиевых узлов ответственного назначения производят контроль качества отмывки. Это осуществляется нанесением на швы капель двухпроцентного раствора азотно-кислого серебра, которое при наличии остатков солей немедленно реагирует с ними и образует в каплях белый осадок хлористого серебра. Появление белого осадка в прозрачном растворе указывает на низкое качество отмывки, которую нужно повторить. По окончании проверки капли азотнокислого серебра смывают проточной водой.

Контроль качества паяных швов производят внешним осмотром, испытанием на герметичность под давлением воздуха или жидкости и другими методами, которые обычно оговариваются в технических условиях на данные узлы.

Паяные швы по всему периметру должны иметь чистые и ровные галтели без каплевидных наплывов, непропая, газовых и шлаковых включений, эрозии и проплава основного металла.

Обычно при выявлении в паяных швах таких дефектов, как негерметичность соединений, непропай, неравномерность галтелей припоя по периметру швов, исправление их производят в соляной ванне путем повторной пайки узлов.

В отличие от других способов сам процесс пайки в соляных ваннах не требует от исполнителя высокого мастерства и одновременно с этим обеспечивает получение паяных соединений высокого качества.

Металлографические исследования паяных швов на алюминии и его сплавах выявляют мелкодендритную структуру металла при глубине диффузионных слоев до 0,08 мм.

Узлы, паяные припоями П590А, П575А и прошедшие весь цикл механической обработки, в случае необходимости могут подвергаться анодированию или химической полировке, которая осуществляется погружением на 1—5 мин. в раствор следующего

состава: H_3PO_4 (уд. вес 1,7) — 780 мл; HNO_3 (уд. вес 1,4) — 35 мл; H_2O — 185 мл. Температура раствора 70°C . После полировки узлы необходимо тщательно отмыть от кислоты в холодной, а затем в горячей воде и просушить.

С целью сохранения швов от разъедания необходимо перед анодированием, фосфатным оксидированием или химической полировкой алюминиевых узлов, паянных другими марками при-

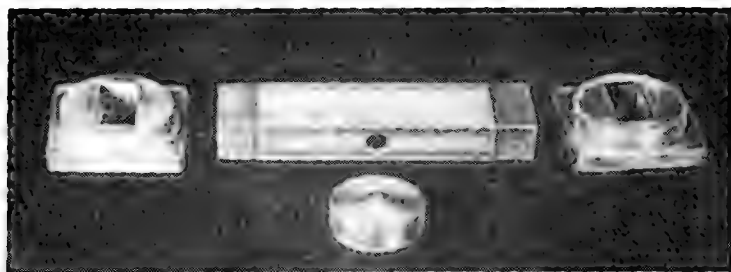


Рис. 36. Алюминиевые детали перед пайкой.

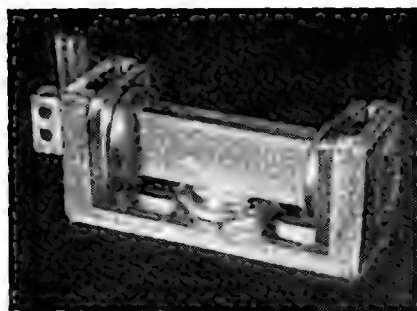


Рис. 37. Положение деталей на приспособлении.

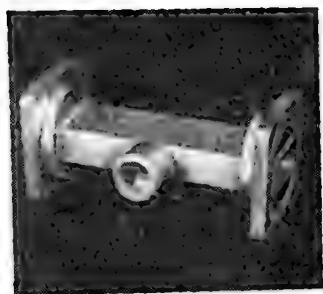


Рис. 38. Узел, полученный после пайки в соляной ванне.

посл, галтели швов по всему периметру защищать лаком АК-20 или ХВЛ-21.

Для иллюстрации возможностей рассмотренного технологического процесса на рис. 36, 37, 38 соответственно показаны алюминиевые детали перед пайкой, положение их на приспособлении и узел, полученный после пайки в соляной ванне.

Представление о производительности процесса можно получить по следующим данным: при пайке узла, показанного на рис. 38, затраты времени на предварительный подогрев приспособления вместе с деталями составляют две-три минуты, а сам процесс пайки в ванне не превышает одной минуты.

При газопламенной пайке и пайке ТВЧ затраты времени на этот же узел соответственно равны 10 и 6 мин. Сравнивая процессы по основному времени, замечаем, что при пайке в соляной ванне даже таких несложных узлов производительность возрастает в 6—10 раз. Наряду с этим при пайке в ваннах имеются условия для еще более резкого повышения производительности за счет перехода с одноместных приспособлений на многоместные.

Результаты сопоставления процессов по квалификации исполнителей также говорят в пользу соляных ванн, где пайка выполняется исполнителями 4—5 разряда, в то время, как при газопламенной обычно требуется 6—7, а при пайке ТВЧ 5—6 разряд.

Переходя к анализу вопроса об объемах производства, массовости узлов одного типоразмера и практической целесообразности использования процессов с учетом затрат на технологическое оборудование и оснастку, необходимо отметить следующее. Пайка в соляных ваннах оказывается наиболее рентабельной лишь в условиях крупносерийного и массового производства при установившейся программе изделий и больших партиях (даже очень сложных с точки зрения пайки) узлов одного типоразмера.

Однако, в технологии приборостроения при изготовлении весьма сложных со стороны пайки узлов антенн, высокочастотных головок и волноводов пайка в соляных ваннах зачастую становится незаменимой операцией для реализации замыслов конструктора при выпуске изделий требуемого качества. Иначе говоря, в ряде случаев только с помощью пайки в ваннах удастся осуществить сборку узла с выполнением всех поставленных требований, подобно тому, как это показано при оценке возможностей пайки ТВЧ (рис. 25).

Говоря о процессах пайки в ваннах и ТВЧ, общность которых по сравнению с газопламенной пайкой состоит в том, что они легко решают вопросы механизации и позволяют поднять производство на более высокую ступень развития, необходимо заметить, что область целесообразного применения пайки ТВЧ распространяется не только на массовое, но и на серийное и мелкосерийное производство.

Глава 7

ПАЙКА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Конструктивные особенности магниевых сплавов

В отличие от алюминиевых сплавов в современном производстве радиоаппаратуры деформируемые магниевые сплавы почти не получили применения. При решении задач резкого снижения веса и габаритов аппаратуры магниевые сплавы не могут оставаться без внимания хотя бы потому, что они относятся к самым легким из применяемых в технике конструкционных материалов.

Как известно, они имеют удельный вес не более 1,8, обладают относительно высокими механическими свойствами (табл. 30), способны воспринимать в сравнении с алюминиевыми сплавами повышенные ударные нагрузки, химически стойки к щелочам, керосину, бензину и минеральным маслам, хорошо обрабатываются на металлорежущих станках и легко поддаются отделочным операциям.

Таблица 30

**Основные физические и механические свойства
деформируемых магниевых сплавов**

Марка сплава	Удельный вес	Удельное электросопротивление, ом. мм ² /м	Предел прочности при растяжении, σ_B кг/мм ²	Относительное удлинение δ , %	Примечание
МА1	1,76	0,0612	17—19	3—5	Значения δ и σ_B соответствуют для МА1 и МА8 в виде листов, а для остальных марок материалов в виде поковок и штамповок
МА2	1,78	—	24	5	
МА3	1,8	0,1535	26	8	
МА5	1,8	—	27	6	
МА8	1,77	0,0619	23—24	10—12	

В ряде случаев от применения магниевых сплавов отказываются по причине низкой коррозионной стойкости и трудностей, связанных со сваркой или пайкой.

Говоря о коррозионной стойкости магниевых сплавов, следует заметить, что все металлы и сплавы при определенных условиях подвержены коррозии. Если сравнивать магниевые сплавы с углеродистыми сталями без соответствующей антикоррозийной защиты, то последние корродируют значительно быстрее, чем магниевые сплавы. Нельзя забывать, что магниевые сплавы так же, как и алюминиевые, хорошо подвергаются оксидированию и, кроме этого, для них имеется ряд и других эффективных способов антикоррозийных покрытий.

Существовавшие трудности в сварке магниевых сплавов в настоящее время уже преодолены. Хорошие результаты дает аргоноподуговая сварка, с применением которой на магниевых сплавах получают сварные швы более плотные, чем на алюминиевых. Отсутствие микропористости в сочетании с относительно высокой прочностью сварных швов имеет решающее значение в производстве высотной аппаратуры.

По литературным данным [12, 17], в иностранной технике магниевые сплавы с успехом используются при изготовлении самолетных радиолокационных антенн, малогабаритных моторов, переносных радиостанций, оборудования для съемок, полевых коммутаторов, портативных электрических инструментов, пылесосов и ряда других изделий самого различного назначения.

Если теперь учесть, что в технологии твердой и мягкой пайки магниевых сплавов также имеются значительные достижения, то в современном приборостроении нет каких-либо серьезных препятствий для широкого применения легких конструкционных материалов на магниевой основе.

Технология пайки твердыми припоями

Твердая пайка деформируемых магниевых сплавов производится припоем ПЗ80Мг или П430Мг с применением флюса марки ФЗ80Мг.

В сравнении с пайкой алюминия в технологии пайки магниевых сплавов необходимо выполнять некоторые специфические требования:

тщательно соблюдать технологию подготовки деталей к пайке, непременно удалять стружку, пыль и заусеницы, очень опасные в пожарном отношении;

применять хорошо просушенный флюс, так как присутствие влаги вызывает интенсивное окисление с образованием окислов или гидроокислов, делающих пайку невыполнимой;

к пайке допускать лишь квалифицированных операторов, хорошо подготовленных теоретически и практически как по технологии пайки, так и по технике безопасности при работе с магниевыми сплавами;

для предотвращения коррозии паяных швов сразу же после пайки тщательно удалять остатки флюса и немедленно повторить

отмывку после механической обработки, если в процессе ее имело место повреждение литейной корки на паяных швах.

Независимо от способа нагрева деталей в технологический процесс пайки входят следующие операции: 1) подготовка деталей к пайке, 2) сборка их в узлы, 3) пайка, 4) удаление остатков флюса, 5) контроль.

Подготовка деталей к пайке в первую очередь заключается в проверке правильности подгонки соединяемых элементов, наличия в соединениях зазоров в пределах от 0,1 до 0,3 мм, технологических припусков, фасок и отсутствия заусениц. Для удаления консервирующей смазки, пыли и маркировочной краски детали промывают в бензине или растворителе.

Удаление старой оксидной пленки производится обработкой деталей в течение 8—12 мин. в водном растворе хромового ангидрида с концентрацией 20—30 г/л при температуре раствора 60—70°С или 150—260 г/л, но при температуре не выше 30°С с последующей промывкой в горячей и холодной проточной воде.

Поверхности деталей в местах пайки тщательно зачищают стальной щеткой, шабером или напильником.

Подготовленные к пайке детали собирают в узлы на соответствующих приспособлениях, строго следя за тем, чтобы на них не попадали стружка, влага, жиры и пыль, и чтобы время между моментом зачистки деталей и пайкой не превышало пяти часов.

Аналогично пайке алюминия хорошее качество пайки деталей из магниевых сплавов обеспечивается при условии равномерного нагрева всех элементов соединения до температуры, которая на 30—50°С превышает точку плавления соответствующего припоя. В данном случае для нагрева и пайки деталей можно успешно использовать ТВЧ, электроконтактный нагрев, а также газопламенный нагрев с применением горелок, работающих на бытовом газу или бензино-воздушных систем. Не допускается нагрев пламенем кислородно-ацетиленовых горелок по тем же причинам, которые были рассмотрены при флюсовой пайке алюминия и его сплавов.

Для пайки с нагревом ТВЧ можно использовать ламповые плавильно-закалочные генераторы, технические характеристики которых приведены выше, в табл. 22.

Выбор того или иного типа генератора в каждом конкретном случае определяется габаритами паемых деталей.

Кроме этого, для высокочастотной пайки деталей из магниевых сплавов требуются, наряду с генератором, соответствующие приспособления и индукторы, при проектировании и изготовлении которых следует пользоваться рекомендациями, ранее рассмотренными в главе 4.

В процессе нагрева и пайки очередность переходов, приемы подачи флюса и припоя, а также контроль за температурой нагрева деталей остаются теми же, что и при пайке алюминиевых сплавов. Пожалуй, единственной технологической тонкостью

процесса, кстати не зависящей от способа нагрева и пайки магниевых деталей, является необходимость при выполнении швов с большой шириной нахлестки производить дополнительную и обильную подачу флюса со стороны противоположной подаче припоя.

Некоторое представление о возможностях пайки с нагревом ТВЧ можно получить при рассмотрении рис. 39, где представлены узлы, паяные на генераторе ЛГПЗ-30, отдельные детали которых были изготовлены из магниевых сплавов МА1, МА2, МА5, МА8 и Мг.

При газопламенной пайке подготовленные и собранные в узел детали нагревают пламенем бензино-воздушной горелки

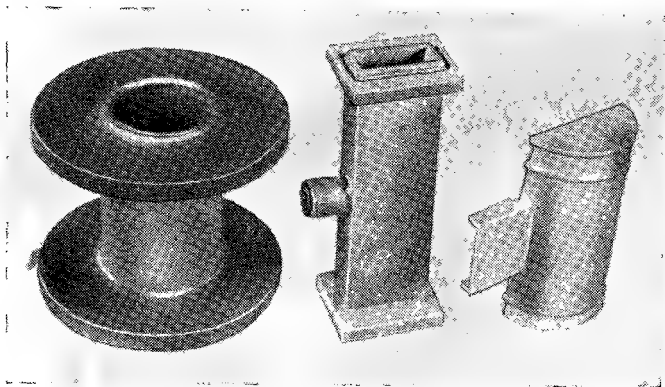


Рис. 39. Узлы из магниевых сплавов, паянные с нагревом ТВЧ.

до температуры плавления флюса, следя за тем, чтобы зона пайки нагревалась равномерно и пламя горелки не было направлено на место, зачищенное под пайку.

Затем нагретым концом прутка припоя набирают флюс, вносят его на место пайки, хорошо флюсуя шов по всему периметру, производят пайку, следя за повсеместным затеканием припоя.

Соединения деталей из различных марок магниевых сплавов, полученные при пайке с нагревом пламенем бензино-воздушной горелки, показаны на рис. 40.

Как видно из этого рисунка, крайний правый узел имеет светлый тон; в отличие от остальных он не подвергался оксидированию.

Уже отмечалось, что применяемые флюсы очень гигроскопичны, поэтому на время перерывов в работе банку с флюсом следует закрывать резиновой пробкой.

Крупные детали во избежание коробления перед пайкой подогревают в электрической печи до температуры 300—350° С. Мелкие детали паяют без предварительного нагрева.

При пайке деталей, значительно отличающихся по толщине, нагревают более массивную деталь, чтобы предотвратить перегрев, загорание или оплавление тонкостенных деталей.

Пайку производят под зонтом вытяжной вентиляции, строго соблюдая правила по технике безопасности и противопожарной безопасности при литье, механической и других видах обработки магниевых сплавов.

После окончания пайки и охлаждения узлов на воздухе не менее ответственной операцией является удаление остатков флюсов.

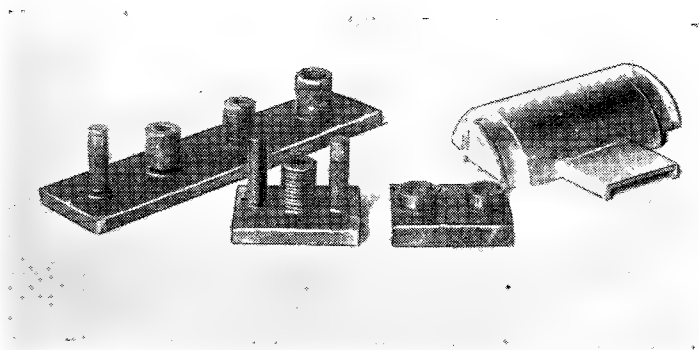


Рис. 40. Детали из МА2 и МА8, запаянные с нагревом газовой горелкой.

В отличие от алюминиевых паяные узлы из магниевых сплавов подвергают отмывке сразу же после их охлаждения.

Сначала удаление остатков флюса производят в кипящем 2—3% водном растворе углекислой соды, наличие которой резко снижает коррозионное действие горячей воды на магниевые сплавы. После 30—60-минутной отмывки в содовом растворе узлы промывают в холодной воде с добавкой 0,3—0,5% хромпика. Далее с целью удаления труднорастворимых в воде фтористых солей, которые, как известно, входят в состав флюсов, производят дополнительную отмывку в 20—30% растворе хромового ангидрида при комнатной температуре.

По окончании этой обработки узлы промывают сначала в холодной, а затем в горячей воде и производят сушку в сушильном шкафу при температуре 60—70° С.

В процессе удаления остатков флюса выявляют швы с такими дефектами, как повышенная пористость, раковины, непропай, неравномерность галтелей припоя и его наплывы. Перечисленные дефекты устраняют повторной пайкой с обязательной предварительной зачисткой дефектных мест шабером, металлической щеткой или напильником.

Коррозионная стойкость паяных швов на магниевых сплавах в значительной мере зависит не только от тщательности удаления остатков флюсов, но также и от сохранности литейной корки на галтелях припоя. Дело в том, что литейная корка по своей структуре является наиболее монолитной, она несет на себе слой окисной пленки, которая самой природой призвана защитить металл от коррозии. Поэтому в процессе дальнейшей механической обработки паяных узлов следует по возможности избегать повреждений литейной корки.

Во всех случаях механической обработки, вызывающей частичное повреждение или полное снятие литейной корки, производят повторную отмывку флюса, находящегося во вскрытых порах паяных швов. По завершении механической обработки узлы, с целью повышения коррозионной стойкости, подвергают оксидированию по технологии, принятой для магниевых сплавов.

Перед оксидированием швы, выполненные припоями ПЗ80Мг и П430Мг, не нуждаются в лаковой защите, так как они хорошо принимают оксидирование.

Пайка мягкими припоями

С применением магниевых сплавов в производстве радиоаппаратуры наряду с твердой пайкой возникает необходимость в мягкой пайке припоями с температурой плавления в интервале 150—300° С. Для решения этой задачи прежде всего необходимо изыскать флюсы, способные растворять окисную пленку на магнии в заданном интервале температур.

Работы по изысканию таких флюсов пока не дали положительных результатов.

Экспериментальная проверка литературных рекомендаций по пайке магниевых сплавов с применением ультразвука также дала отрицательные результаты. Поэтому в настоящее время решение вопросов пайки магниевых сплавов мягкими припоями идет в двух направлениях.

Во-первых, продолжают работы по изысканию специальных флюсов, способных растворять окисную пленку при температурах пайки в интервале 150—300° С.

Во-вторых, разрабатываются технологические процессы электроосаждения на магниевые сплавы металлических покрытий. Следует отметить, что здесь имеются существенные результаты, а именно, для магниевых сплавов МА1 и МА8 уже разработана технология электроосаждения и получены покрытия, обеспечивающие стойкость против коррозии, хорошую электропроводность и способность к пайке мягкими припоями.

Технология процесса состоит в том, что магниевые сплавы вначале подвергают химическому (контактному) цинкованию. Затем производят электроосаждение медного подслоя толщиной до 20—25 мк с последующим осаждением основного металла.

С освоением процессов электроосаждения металлических покрытий успешно решаются вопросы повышения электропроводности и антикоррозионной защиты деталей из магниевых сплавов, а также преодолеваются имевшиеся трудности в пайке мягкими припоями.

При наличии медного подслоя детали можно подвергать горячему лужению, которое производится оловянно-цинковыми, кадмиево-цинковыми и другими бессвинцовыми мягкими припоями.

Применение припоев со свинцом не рекомендуется, так как контакт свинца с магнием совершенно недопустим, а полагаться на беспористость слоев цинка и меди не приходится.

Кроме горячего лужения, в качестве основного металла покрытия хорошие результаты в смысле пайке дает серебрение или никелирование деталей. Но и с этими покрытиями магниевые детали необходимо паять только бессвинцовыми мягкими припоями с применением обычных флюсов и способов нагрева.

Испытания показывают, что при выполнении пайки нагрев деталей до температуры 150—300° С не нарушает адгезию покрытия с основным металлом деталей. Разрушение паяных образцов происходит по основному металлу в местах захвата образцов или по припою, но не по границе покрытие — основной металл.

В табл. 31 приведены результаты испытания образцов с медным или никелевым покрытием, пайка которых производилась мягкими припоями с применением флюса ЛТИ-120 и обычного электропаяльника.

Таблица 31

Прочность паяных швов на МА1 и МА8, выполненных мягкими припоями

№ образца	Марка и толщина материала, мм	Марка припоя	Площадь нахлестки, мм	Разрушающее усилие, кг	Характер разрушения
76	МА8; 1	П300А	24,1×6,4	560	По основному материалу в захвате
85	МА8; 1	П300А	24×6,1	565	То же
165	МА8; 2	П200А	25×7,6	920	По шву
110	МА1; 6,7	П200А	15,7×13,8	900	То же
36	МА8; 2	П170А	24,1×8,25	1050	По основному металлу в захвате
36	МА8; 2	П170А	.	980	То же

Результаты, приведенные в этой таблице, показывают, что при ширине нахлестки, превышающей четыре толщины материала образца, разрушение происходит по основному материалу без потери его механической прочности.

А ведь ранее отмечалось, что при пайке магниевых сплавов твердыми припоями марок П380Мг и П430Мг вследствие нагрева имела место потеря механической прочности основного материала до 50% для сплава МА1 и от 10 до 30% для других магниевых сплавов.

Сохранение прочности основного материала является существенным преимуществом мягкой пайки и при конструировании магниевых узлов, подлежащих пайке, его необходимо реализовать в первую очередь.

Заметим, что при сварке магниевых сплавов потери прочности основного металла еще выше, чем при пайке твердыми припоями; поэтому и в данном случае пайка мягкими припоями сохраняет за собой преимущество.

Глава 8

ПАЙКА РАДИОДЕТАЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ С ПЕЧАТНЫМИ СХЕМАМИ

Способы изготовления печатных схем

В современном приборостроении решение задачи резкого повышения производительности труда при массовом выпуске радиовещательной и специальной аппаратуры идет по пути механизации и автоматизации монтажно-сборочных работ. В связи с этим ранее существовавшие методы проектирования и производства аппаратуры оказались несостоятельными и подверглись существенным изменениям.

Среди новых методов наиболее прогрессивным является проектирование и производство аппаратуры с применением печатных схем, или, иначе, печатного монтажа.

Освоение печатных схем открывает новые возможности в части механизации и автоматизации сборочно-монтажных работ, сокращении времени проектирования и настройки при одновременном повышении качества аппаратуры, увеличении выпуска и резком уменьшении ее веса и габаритов.

В последнее время в технике уже насчитываются десятки способов изготовления печатных схем, но все они направлены к достижению одной конечной цели — нанести на изоляционное основание (плату) токопроводящий слой, образующий плоские монтажные проводники заданной схемы.

Однако из всего многообразия способов широкое применение получили лишь три: электрохимического осаждения металла, травления фольги и способ переноса. Рассмотрим кратко сущность каждого из них.

Способ электрохимического осаждения металла. На изоляционную плату, предварительно подвергнутую пескоструйной обработке, с помощью клише на плоскочечатном офсетном станке защитной краской наносят негативный рисунок схемы на участки платы, не предназначенные для электрохимического осаждения меди.

Далее плату обрабатывают в растворах сначала двухлористого олова, а затем азотнокислого серебра и подвергают хими-

ческому меднению. Полученные таким образом проводники схемы толщиной до 2 мк гальваническим способом наращивают до требуемой толщины. После удаления краски на изоляционном основании платы получают плоские медные проводники схемы, толщина которых составляет 20—60 мк.

Этот способ обеспечивает металлизацию отверстий в плате, служащих для установки навесных деталей и для электрической связи печатных проводников при двустороннем их расположении.

Способ травления фольги. Сущность технологического процесса состоит в том, что на изоляционное основание, предварительно плакированное с одной или обеих сторон медной фольгой, кислотоупорной краской наносят требуемый рисунок схемы способом офсетной печати, фотопечати или пульверизатором через металлический трафарет.

После этого плату погружают в ванну с травящим раствором и вытравливают участки медной фольги, не защищенные краской. Оставшиеся под краской участки фольги образуют на плате заданный рисунок схемы.

Способ характеризуется простотой технологического процесса, получением монолитных токопроводящих проводников, легко поддающихся пайке с выводами навесных деталей.

Способ переноса. В отличие от уже рассмотренных способов в данном случае заданный рисунок схемы с помощью фотопечати наносят на металлическую матрицу с полированной поверхностью, которая предварительно покрывается слоем светочувствительной эмульсии. После проявления рисунка производят гальваническое осаждение меди, которая высаживается лишь на не защищенные эмульсией участки матрицы.

Затем матрицу с гальванически осажденными проводниками схемы накладывают на плату, предварительно покрытую слоем клея, и ставят под пресс или прокатывают между вальками. Благодаря слабой адгезии медных проводников с полированной поверхностью матрицы они легко отстают и переносятся с матрицы на поверхность платы.

После этого плату подвергают нагреву до температуры полимеризации клея, упрочняя соединение проводника с изоляционным основанием платы.

Способ переноса по сравнению с травлением фольги имеет более трудоемкую технологию, но обеспечивает высокое качество плат с печатными схемами.

Следует отметить, что прочность сцепления проводников с основанием печатных схем, получаемых способом переноса или травления фольги, в сильной степени зависит от склеивающих материалов. Поэтому клеи должны обладать сильными склеивающими свойствами, теплостойкостью, устойчивостью против старения, стойкостью при действии растворов щелочей и кислот и не уступать по диэлектрическим данным материалу основания.

Элементы плат, изготовленных тем или иным способом по условиям дальнейшей механизированной сборки и пайки выводов навесных деталей с проводниками схемы, должны удовлетворять требованиям технологичности, которые были рассмотрены в первой главе.

Кроме этого, технология механизированной установки навесных деталей на платы предъявляет ряд специфических требований к конструкции самих радиодеталей. Главными из них являются стандартизация формы деталей и размеров выводов, ужесточение допусков на габаритные размеры радиодеталей и сокращение до минимума их типоразмеров.

Все это открывает возможности полной автоматизации производства электронной аппаратуры.

Технология пайки погружением в расплавленный припой

В производстве изделий с печатными схемами, где все подчинено требованиям механизации технологических процессов, возникает необходимость отказаться от трудоемкой ручной операции пайки радиодеталей с применением электропаяльников.

Наряду с большой затратой времени при ручной пайке существует опасность перегрева отдельных мест с последующим отслоением проводников от изоляционного основания и выходом в брак всей платы.

В настоящее время одним из наиболее прогрессивных способов, легко поддающихся механизации, является пайка погружением в расплавленный припой.

Сущность этого процесса состоит в том, что все выводы навесных деталей припаиваются к проводникам печатной платы при кратковременном погружении ее в ванну с расплавленным припоем.

Для плат изготовленных способом электрохимического осаждения, качество одновременной пайки большого количества выводов с проводниками платы в сильной мере зависит от качества осажденного металла.

Нестабильность электрохимического процесса, отсутствие меди на zenковках и в отверстиях под выводы радиодеталей и пористость металла с остатками электролита вносит серьезные затруднения в процесс пайки и резко снижает ее качество.

Получение печатных проводников способом травления фольги имеет для пайки значительное преимущество, так как обеспечивает стабильное качество металла, его беспористость и неокисляемость.

В этом случае даже с применением таких слабо активных флюсов, как спиртово-канифолиевые или парафино-стеориновые, обеспечивается повсеместная качественная пайка выводов с печатными проводниками схемы.

Одной из основных задач, решаемых в технологии пайки способом погружения является защита печатных проводников от

облуживания. Дело в том, что при отсутствии защиты погружение платы в расплавленный припой наряду с пайкой выводов вызывает неизбежное облуживание проводников печатной схемы с образованием наплывов припоя, закорачивающих близлежащие проводники.

В настоящее время используют два способа защиты проводников от облуживания.

Первый состоит в том, что на плату со стороны печатной схемы еще до установки и крепления радиодеталей накатывают с помощью валика пленку теплостойкого лака. После сушки лака на плату устанавливают радиодетали, наносят флюс и производят пайку погружением. Пленка лака не удаляется после пайки и может служить защитным покрытием проводников схемы от действия влаги.

Для защиты от облуживания наиболее широко применяют бакелитовый лак марки А ГОСТ 901 — 46. К недостаткам этого лака следует отнести потребность в сушке при температуре 60—80° С, продолжительность которой составляет от 1,5 до 2 часов.

Второй способ защиты состоит в применении специальных защитных масок с отверстиями, открывающими свободный доступ расплавленному припою только в местах пайки.

По срокам службы и конструктивному оформлению защитные маски подразделяются на два типа.

Маски первого типа, предназначенные для многократного применения, обычно состоят из металлической пластины и прокладки из нескольких слоев стеклоткани, склеенных клеем БФ-4. В пластине и прокладке имеются отверстия, координаты которых согласованы с паяемыми отверстиями платы.

Крепление маски на плату производится непосредственно перед пайкой в приспособлении, с помощью которого плата удерживается при погружении в ванну с припоем.

Прокладка из стеклоткани устанавливается между платой и металлической пластиной маски и служит для заполнения зазора, образующегося между ними, исключая затекание припоя на проводники схемы.

Недостатком этих масок является коробление металлических пластин с нарушением уплотнения, что приводит к затеканию припоя и облуживанию отдельных проводников.

Маски второго типа обычно предназначаются для разового использования и состоят из бумажного трафарета, одна сторона которого гуммируется слоем декстринового, столярного или другого легко растворимого в воде клея.

Бумажные маски наклеиваются на платы перед пайкой и, плотно прилегая к печатным проводникам, надежно защищают их от облуживания. Как правило, бумажные маски после пайки удаляются и повторно не используются.

Технологический процесс пайки плат с применением бумажных масок и при одностороннем расположении навесных радиодеталей состоит из следующих операций: обезжиривания, наклейки маски, пайки, удаления маски, отмычки флюса, сушки, контроля.

Ознакомимся более детально с технологическими особенностями каждой из этих операций от начала и до завершения процесса.

Обезжиривание. Процесс состоит в том, что плату с установленными и закрепленными на ней радиодеталями стороной печатного монтажа погружают на 6—10 сек. в растворитель. Глубина погружения должна быть такой, чтобы верхняя сторона платы оказалась под слоем растворителя толщиной до 1 мм. Затем плату извлекают из растворителя и обдувают воздухом до полного высыхания растворителя.

Наклейка маски. Маску штампуют из бумажной ленты, предварительно гуммированной клеем. По длине и ширине маска должна соответствовать размерам платы.

Одновременно в маске пробивают базовые отверстия, соответствующие по величине и расположению базовым отверстиям в плате, и отверстия против мест пайки. Необходимо также предусмотреть вырубку под лапки держателей приспособления, в котором крепится плата с наклеенной маской в момент пайки.

Диаметр отверстий в маске зависит от величины нахлестки. При нахлестке $1 \pm 0,2$ мм он равен 3 мм. Для плат функциональных элементов, в которых расстояние между центрами отверстий под выводы навесных деталей равно 3 мм, диаметр отверстий в маске составляет 2,6—2,7 мм, а нахлестка выводов на печатных проводниках не должна превышать 0,5 мм.

Для плат с зенкованными отверстиями со стороны печатного монтажа диаметр отверстий в маске должен быть на 0,4—0,5 мм больше диаметра зенковки ($d_{зенк}$).

Наклейка маски производится в специальном приспособлении, состоящем из верхней плиты, резиновой подушки и основания с установочными штифтами.

В верхней плите имеются отверстия, конфигурация и расположение которых соответствуют форме и размещению навесных деталей на плате.

Маску надевают на установочные штифты гуммированной стороной вверх и укладывают на резиновую подушку приспособления. С помощью пульверизатора гуммированную сторону смачивают водой до состояния липкости, не допуская появления подтеков и капель.

Затем на маску стороной печатного монтажа накладывают плату и на 5—10 сек. плотно прижимают ее верхней плитой приспособления к маске.

Пайка. Механизированный процесс пайки плат способом погружения производится на специальной установке, схема которой изображена на рис. 41.

Как видно из схемы, ванна с припоем 2 для стабильности теплового баланса размещена в соляной ванне 7, электронагреватель 6 которой связан с терморегулятором (на схеме не показан), автоматически поддерживающим требуемую температуру припоя. В состав соляной ванны входят:

калий азотнокислый (ГОСТ 1449 — 43)	. . .	53 %
натрий азотнокислый (ГОСТ 828 — 54)	. . .	7 %
натрий азотистокислый (ГОСТ 6194 — 52)	. . .	40 %

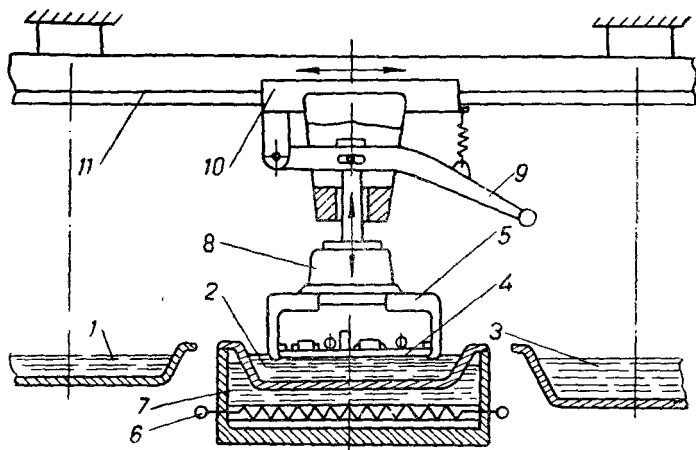


Рис. 41. Схема установки для пайки плат погружением:

1 — ванна с флюсом; 2 — ванна с припоем; 3 — ванна для отмывки маски и остатков флюса; 4 — плата; 5 — приспособление для крепления платы; 6 — электронагреватель; 7 — соляная ванна; 8 — вибрационная головка; 9 — рычаг головки; 10 — каретка; 11 — направляющие каретки.

Перед пайкой плату 4 закрепляют в горизонтальном положении в приспособлении 5, а затем с помощью рычага 9 каретку 10 вместе с вибрационной головкой и приспособлением перемещают вдоль направляющих 11 и устанавливают над ванной 1 для флюсования.

После погружения платы во флюс на глубину не более трех четвертей ее толщины включают вибратор.

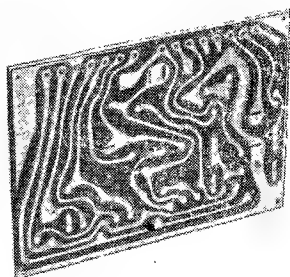
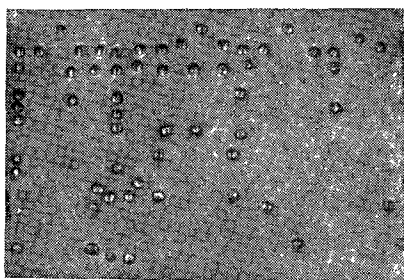
Амплитуда вибрации устанавливается для каждого типоразмера плат в пределах такого максимального значения, при котором не происходит разбрызгивания флюса на навесные детали. Через 4—6 сек. плату с помощью рычага головки извлекают из ванны с флюсом и выдерживают над ней 3—5 сек., не выключая вибратор, с целью удаления излишков флюса. Затем вибратор выключают и устанавливают над ванной с расплавленным припоем. Повторяя те же приемы, плату погружают в припой, зеркало которого предварительно очищают от окисной пленки.

Через 2—4 сек. после погружения платы в припой включают вибратор. Амплитуда вибрации для каждого типа плат устанавли-

ливается в пределах такого максимального значения, при котором не происходит выброс капель припоя через отверстия платы. Выдержка платы в ванне длится до появления припоя в верхней части всех отверстий и запайки выводов навесных деталей.

По окончании пайки плату плавно извлекают из припоя и, не выключая вибратор, выдерживают над ванной 4—6 сек., чтобы припой в местах пайки на стороне печатного монтажа оформился в виде полусферических головок. Затем вибратор плавно выключают и головку с платой устанавливают над ванной с горячей водой.

В связи с тем, что в ваннах отсутствуют устройства, регулирующие уровень флюса и припоя, необходимо периодически регулировать величину хода вибрационной головки винтом упора и, в случае необходимости пополнять ванны.



a

Рис. 42. Плата после пайки погружением:
a — с бумажной маской, *б* — после удаления маски.

При пайке погружением применяется припой марки ПОС-61, нагретый до температуры 240—250° С. Он обладает лучшей текучестью и более низкой температурой плавления, чем припой марки ПОС-40, применяемый при пайке плат электрическим паяльником. При температуре припоя 240° С время выдержки платы в ванне составляет от 6 до 10 секунд.

Для каждого типа плат оптимальное время выдержки определяется опытным путем.

На рис. 42 показана плата со стороны печатной схемы с наклеенной бумажной маской и без нее после пайки погружением в ванну с припоем.

Удаление маски. Для удаления маски плату погружают в горячую воду с температурой 80—90° С на глубину не более трех четвертей ее толщины и включают вибратор. Время удаления маски зависит от состава используемых флюсов. Для плат, паянных с флюсом № 6, продолжительность отделения маски составляет 20—25 сек. При использовании ЛТИ-120 и других осмоляю-

шихся флюсов затраты времени на удаление маски возрастают до 2—4 минут.

Отмывка флюса. После удаления маски плату извлекают из приспособления и для отмывки остатков флюса погружают в ванну с горячей проточной водой на глубину, исключающую замачивание навесных деталей. По времени отмывка остатков флюса занимает от 2 до 4 минут.

Сушка готовых плат производится в сушильном шкафу при температуре 60° С на протяжении от 0,5 до 1 часа.

Контроль. Качество пайки контролируется внешним осмотром и испытанием на вибропрочность. Наплывы припоя в местах пайки не должны превышать 1,5 мм и не образовывать перемычек между печатными проводниками схемы.

Не допускается вздутие проводников и изоляционного основания платы.

Вибропрочность паяных соединений на платах должна отвечать требованиям, оговоренным в технических условиях на данное изделие.

Пайка струйным методом и ее особенности

В последнее время наряду с дальнейшим совершенствованием пайки погружением идет освоение более прогрессивного, так называемого, струйного метода пайки печатных плат.

Сущность его заключается в том, что подлежащая пайке плата с постоянной скоростью перемещается по гребню струи (волны) расплавленного припоя, которая образуется над зеркалом ванны в результате принудительной подачи припоя через специальное сопловое устройство.

Схема установки для механизированной пайки плат с печатными схемами струйным методом показана на рис. 43.

В отличие от пайки погружением струйный метод имеет ряд преимуществ, которые открывают принципиально новые возможности для решения задач механизации и автоматизации процесса.

Прежде всего, гребень волны припоя, а равно и флюса, значительно возвышается над краями ванны, в результате чего траектория движения платы не меняет своего направления и все время остается прямолинейной, что существенно упрощает конструкцию механизмов установки.

Зеркало припоя на гребне волны всегда свободно от окисных пленок, которые фактически не успевают образовываться. Этому благоприятствует и то, что подача припоя в сопло происходит не из поверхности, а из глубины ванны. При пайке же погружением очистка зеркала припоя от шлаков должна производиться перед пайкой каждой платы и является одной из сложных технических задач.

Уровень припоя в ванне не оказывает влияния на процесс пайки, а непрерывное перемещение припоя на гребне волны соз-

дает лучшие условия для свободного выделения газообразных продуктов распада флюса, исключает образование газовых подушек и способствует теплопередаче. Кроме этого, следует ожидать, что степень коробления плат уменьшится, так как соприкосновение их с припоем идет не по всей площади одновременно, а лишь последовательно отдельными зонами.

При струйном методе пайки габариты плат не связаны с площадью зеркала припоя, поэтому в одной и той же ванне при наличии сменных сопел можно выполнять пайку плат различных размеров.

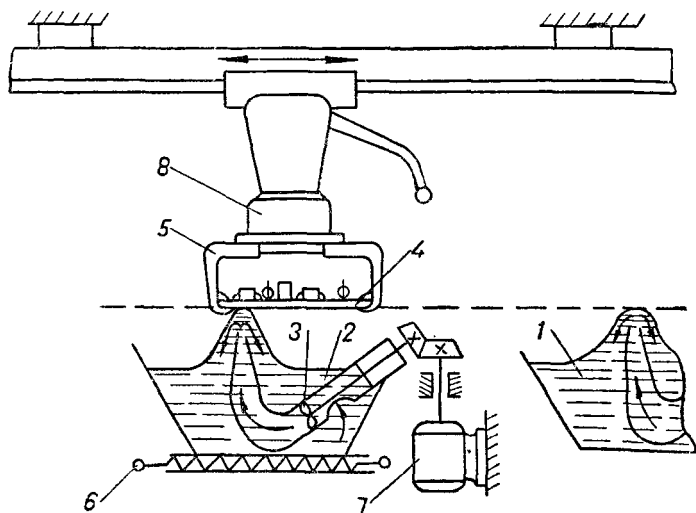


Рис. 43. Схема установки для пайки струйным методом:

1 — ванна с устройством для принудительной подачи струи флюса; 2 — ванна с припоем и сопловым устройством; 3 — крыльчатка насоса; 4 — плата; 5 — приспособление для крепления платы; 6 — электронагреватель; 7 — двигатель насоса; 8 — вибрационная головка.

Однако наряду с перечисленными достоинствами струйный метод пайки не лишен недостатков. В частности обнаружено, что непрерывная циркуляция оловянно-свинцового припоя через сопловое устройство приводит к существенным качественным изменениям в самом припое.

На гребне волны зеркала припоя не успевает окислиться, но по мере падения струя припоя захватывает окисные пленки с зеркала ванны и замешивает их в основную массу припоя. В результате этого скорость окисления припоя при непрерывном его перемешивании чрезвычайно велика.

Экспериментально установлено, что при перемешивании припоя ПОС-61 механической мешалкой со скоростью 150—200 об/мин в течение 30 мин. окисление припоя достигает 25%. Поэтому при струйном методе припой очень скоро теряет жидко-

текучесть, обогащается темно-серым порошком окислов, резко увеличивается в объеме и через 8—10 час. работы становится непригодным для пайки.

Для широкого применения струйного метода пайки в серийном производстве изделий с печатными схемами в первую очередь потребовалось преодолеть этот серьезный недостаток.

Одним из наиболее простых и эффективных способов восстановления припоев в ваннах для пайки струйным методом является рафинирование с помощью флюса Ф179, предложенного лабораторией пайки.

Флюс Ф179 представляет эвтектику хлористых солей цинка и аммония в соотношении 75% $ZnCl_2$ и 25% NH_4Cl .

Для рафинирования припоя этот флюс периодически, но не реже одного раза в смену, вводят в работающую ванну в количестве не более 0,3—0,5% от веса расплавленного припоя.

Основными достоинствами флюса являются низкая стоимость и легкоплавкость, так как температура плавления и активного действия флюса Ф179 находится в интервале 179—190° С.

Глава 9.

ПАЙКА С ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ НАГРЕВОМ

В последнее время область применения электроконтактного нагрева, наряду со сваркой металлов значительно расширилась. Он стал широко применяться в различных технологических процессах: при нагреве деталей под закалку, при обработке металлов давлением, при резании металлов, при нагреве деталей под пайку.

При пайке процесс электроконтактного нагрева состоит в том, что электрический ток низкого напряжения (от 4 до 12 в), но сравнительно большой силы (2000—3000 а), пропускают через графитовые электроды и за короткое время нагревают их до высокой температуры. Нагрев деталей, соединяемых пайкой, осуществляется за счет теплопроводности от нагретых графитовых электродов, а также тепла, выделяемого током при его прохождении в самих деталях. Здесь различают две принципиально отличные схемы, носящие название косвенного и прямого электроконтактного нагрева, которые показаны на рис. 44.

В случае косвенного нагрева (рис. 44, а) электрический ток, прохождение которого условно обозначено стрелками, течет лишь по электроду 1 и нагревает его, а детали 3 и 4 нагреваются исключительно за счет теплопроводности от электрода 1.

Для схемы прямого нагрева (рис. 44, б) характерно то, что нагреваемые детали 3 и 4 непосредственно включены в электрическую цепь и по ним протекает ток. Детали нагреваются за счет теплопроводности от графитового электрода 1 и за счет тепла, выделяемого проходящим электрическим током в толще основного металла деталей.

Расход электроэнергии и время прямого нагрева примерно в два раза меньше, чем в случае косвенного нагрева.

От нагрева газовыми горелками и ТВЧ пайку с электроконтактным нагревом отличает ряд преимуществ: отсутствие слегающего пламени с дутьем, простота и компактность оборудования, отсутствие высоких напряжений и высокий к. п. д. установок, так как электрическая энергия расходуется лишь в момент пайки.

Кроме пайки режущего инструмента твердыми припоями, электроконтактный нагрев начинает успешно применяться при мягкой и твердой пайке деталей из цветных и черных металлов в производстве электро- и радиотехнической аппаратуры.

Большие возможности регулирования и выбора электрических режимов нагрева, а также отсутствие открытого огня обеспечивают легкую концентрацию тепла лишь в зоне пайки. Это создает благоприятные условия при сборке сложных блоков при-

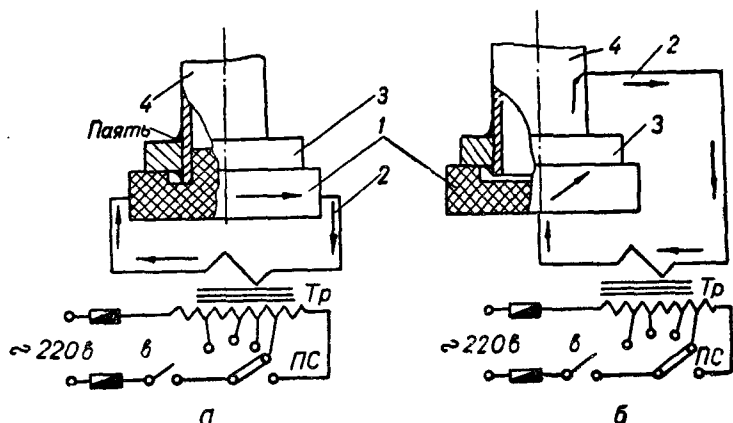


Рис. 44. Схемы установок для пайки с электроконтактным нагревом:

1 — графитовый электрод; 2 — вторичная обмотка трансформатора; 3, 4 — фланец и труба, нагреваемые для пайки; ПС — переключатель ступеней напряжения; Тр — трансформатор; в — выключатель.

боров в случаях соединения выводов монтажных деталей в местах, трудно доступных для пайки. В таких условиях для работы используют специальные ручные клещи, губки которых имеют угольные электроды, обеспечивающие надежный контакт и удержание деталей в требуемом положении.

Электроконтактный нагрев является незаменимым при пайке теплоустойких изделий припоями с температурой плавления выше 350°C , где уже нельзя использовать нагрев обычными электропаяльниками.

На рис. 45 показана схема электроконтактного нагрева при пайке припоем ПСр40 медных проводов со штырями в теплоустойких штепсельных разъемах.

Для удобства соединения угольного электрода с контактирующим проводом вторичной обмотки понижающего трансформатора, а также для теплоизоляции при работе электродом вручную, вся эта система конструктивно оформлена в виде электроконтактного торцового паяльника, общий вид которого представлен на рис. 46.

Конструкция этого паяльника позволяет по мере обгорания рабочего носка угольного электрода выдвигать его из цанги, предварительно ослабив зажимную гайку. Длина выступающей части электрода из цанги паяльника не должна превышать 12—15 мм.

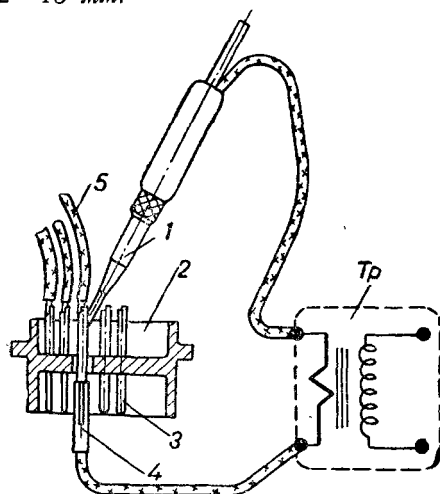


Рис. 45. Схема пайки с электроконтактным нагревом при монтаже теплостойких штепсельных разъемов:

1 — электроконтактный паяльник; 2 — корпус разъема; 3 — штырь; 4 — розетка нижнего контакта; 5 — припаяваемый провод; Tr — трансформатор.

Нагрев и пайка штырей производится последовательно рядами при соблюдении следующей очередности переходов.

К штырю в месте пайки подводят до соприкосновения угольный электрод паяльника, а затем с помощью ножной педали включают ток и производят нагрев зоны пайки. Конец прутка припой быстро обмакивают во флюс, предварительно расплавленный в фарфоровом тигле электропечи, и подают на место пайки до соприкосновения с нагретым штырем.

За счет теплопередачи от штыря нагревается припой, флюс расплавляется и профлюсовывает место пайки. Затем расплавляется припой

и под действием капиллярных сил затекает в шов, после чего прутки припоя отводятся, а ток выключается.

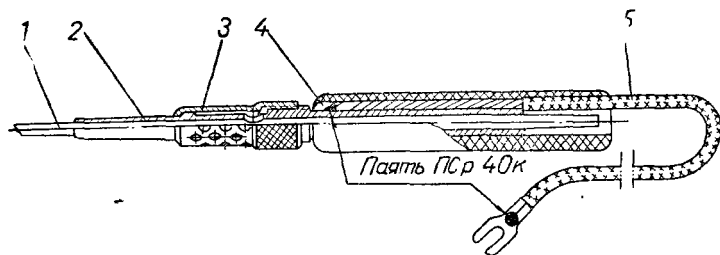


Рис. 46. Электроконтактный торцевой паяльник:

1 — угольный электрод; 2 — цанга; 3 — гайка; 4 — рукоятка; 5 — контактирующий провод.

Следует отметить, что медленное освоение электроконтактного нагрева для пайки на промышленных предприятиях вызвано отсутствием необходимого оборудования.

Недавно закончена работа по созданию промышленного типа установки для пайки латунных и алюминиевых труб с фланцами, а также ряда других деталей приборов (рис. 47).



Рис. 47. Установка для пайки с электроконтактным нагревом.

Техническая характеристика установки

Мощность трансформатора	16 <i>квт</i>
Напряжение питающей сети	380 <i>в</i>
Число ступеней первичной обмотки трансформатора	4
Напряжение на электродах	6, 8, 10 и 12 <i>в</i>
Охлаждение электродов	водяное
Габаритные размеры	1050×800×1600 <i>мм</i>
Вес	345 <i>кг</i>

Конструкция этой установки запроектирована с учетом последовательной работы по схеме как прямого, так и косвенного нагрева. Достигается это за счет поворота головки вокруг вертикальной оси на 180° и соответствующего переключения одного из концов токопроводящей шины, а также заменой графитовых электродов.

Графитовые электроды, или как их называют нагревательные элементы, используемые в электроконтактной установке, изготовляют из графита марки ЭГ-0, ЭГ-2-7 или В.

Пайку мелких деталей выгодно производить партиями при косвенном нагреве, используя графитовые пластины с установочными местами для деталей (рис. 48).

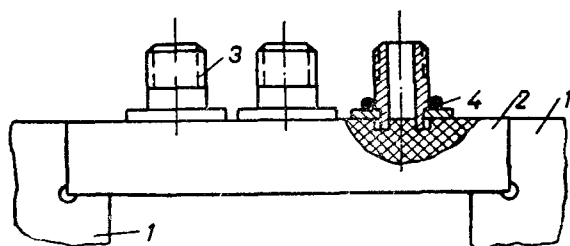


Рис. 48. Одновременная пайка партии деталей при косвенном электроконтактном нагреве.

1 — медный электрод; 2 — графитовая пластина; 3 — детали, соединяемые пайкой; 4 — припой в виде колец.

Технологические требования к конструкции деталей, подготовка и очистка их перед пайкой с электроконтактным нагревом остаются теми же, что и для других способов пайки.

Глава 10

ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ В ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ

Ознакомление с обширным литературным материалом, отражающим современное состояние зарубежной техники пайки цветных металлов позволяет проследить за ходом исследовательских работ в области изыскания новых флюсов, припоев и способов пайки. Остановимся кратко лишь на вопросах, относящихся к технологии мягкой и твердой пайки алюминия, магния и их сплавов.

В настоящее время для пайки алюминия изыскиваются, а в ряде стран уже применяются некоррозионные флюсы, составы которых не приводятся, но указывается ряд типов химических соединений, используемых для флюсов, например гидразиновые флюсы, флюсы на основе аминов и аминов-спиртов, а также флюсы, называемые люмисолд, автогаль, фиринит, кастолин.

Разработан [9] процесс пайки алюминия, при котором удаление окисной пленки с поверхности металла производится за счет органических флюсов, содержащих свободные ионы хлора. Остатки флюсов такого состава образуют на паяных швах негигроскопическую бескислотную пленку, не вызывающую коррозии паяного соединения.

Для пайки алюминия с применением органических флюсов предлагаются припои с температурой плавления 150—280°С на основе свинца, олова, кадмия, цинка, а также индия.

В ряде работ, где утверждается, что сравнительная коррозионная стойкость выше всего у припоев с цинком и самая низкая у припоев со свинцом, можно проследить результаты исследований коррозионной стойкости припоев на основе перечисленных металлов.

Индиевые припои выдаются за самофлюсующиеся, якобы не требующие флюсов не только при пайке алюминия, но и других металлов при различном сочетании между собой и даже с керамикой. Однако проведенные нами исследования индиевых припоев не подтвердили этих соображений.

Разработана [10] технология пайки в печах с парообразными флюсами, которые активно реагируют с окисной пленкой на алюминии и его сплавах. Газообразные флюсы получают путем про-

дувки горючего газа через легко испаряющуюся, но не горючую жидкость, в которой предварительно растворен флюс.

Состав горючего газа, жидкости и флюса не раскрывается, но указывается, что для этих целей используются флюсы на основе хлоридов, иодитов и бромидов.

Кроме этого, в одной из рекомендаций указывается, что в газообразных флюсах в качестве активной составляющей, реаги-

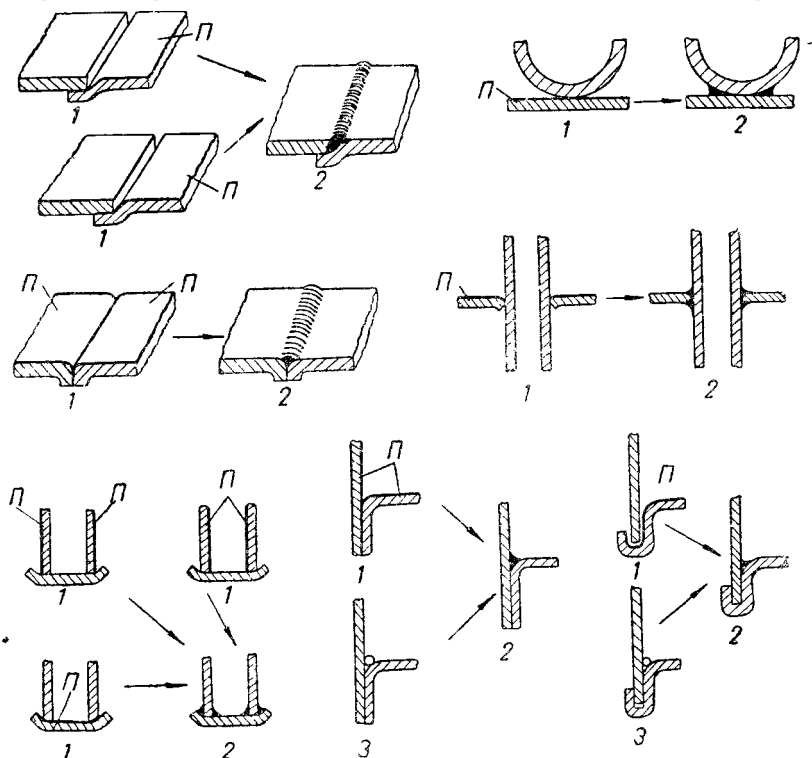


Рис. 49. Образцы пайки деталей, изготовленных из листового алюминия, плакированного припоем:

1 — детали, плакированные припоем перед пайкой; 2 — узел, полученный в результате пайки; 3 — детали перед пайкой без применения плакированного материала; П — поверхность детали, плакированная припоем (утолщенная линия).

рующей с окисной пленкой алюминия, служит неорганический хлорид с молекулярным весом около 117, в котором на каждый положительно заряженный атом приходится до двух атомов хлора. При температуре пайки летучий хлорид инертен к паяемым металлам, но активен по отношению их окислов. Для газообразных флюсов на основе иодита или бромид молекулярный вес должен составлять около 250.

По вопросу пайки магниевых сплавов мягкими припоями имеются очень скудные и неопределенные сведения. В частности,

указывается, что компонентами флюса могут быть органические кислоты и их производные: бензойная, ее ангидрид, моноклорбензойная, дихлорбензойная, дибромбензойная и др.

Заметим, что лабораторная проверка этих рекомендаций не дала положительных результатов, и вопрос о флюсах для пайки магния мягкими припоями по сути не решен вообще.

Для снижения трудоемкости процессов пайки значительную практическую ценность имеет решение задачи о плакировании листового алюминия и его сплавов твердым припоем (рис. 49), который по необходимости наносят с одной или обеих сторон листа.

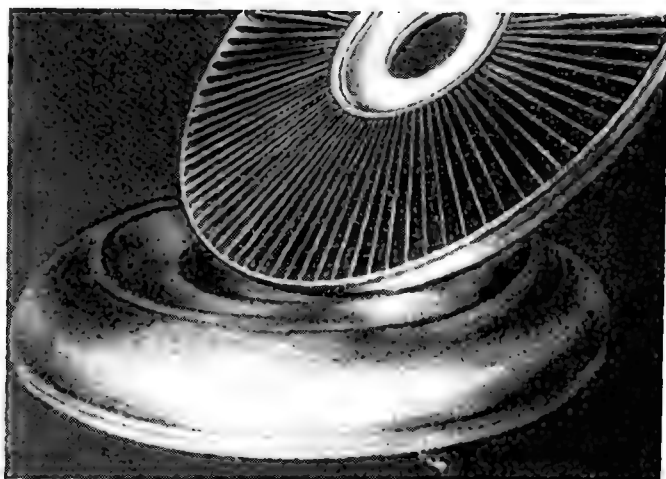


Рис. 50. Лопастное колесо со штампованными деталями из листового плакированного припоем алюминия после пайки.

Отметим, что эта задача у нас также решена, и в качестве припоя для плакирования наша промышленность использует эвтектический силумин ($\text{Al} + 12\% \text{Si}$), который плавится при температуре $577-580^\circ \text{C}$.

Кроме силумина, в заграничной технике для плакирования используются также припой системы алюминий — цинк с содержанием цинка от 20 до 50%.

Как известно, припой этого состава имеют более низкую температуру плавления, чем эвтектический силумин, что позволяет снизить рабочую температуру пайки.

Указывается, что толщина слоя припоя на плакированных листах выдерживается с большой точностью и составляет от 5 до 10% толщины основного материала листа. Плакированию подвергаются листы из алюминия и ряда его сплавов, причем толщина листа может быть всего 0,2—0,4 мм.

С применением плакированного материала отпадает необходимость в дозировании припоя, а также в его укладке и креплении. Это очень важно при пайке сложных узлов с близко лежащими швами, например, лопасных колес (рис. 50), радиаторов, секционированных панелей и кожухов, собираемых из десятков или сотен отдельных деталей, которые штампуются из листового материала.

Штампованные детали из плакированного материала собираются в узлы в специальных приспособлениях, а затем подвергаются пайке в соляных ваннах или печах с газообразными флюсами. По расплавлении плакирующего припоя он под действием капиллярных сил, которые особенно велики на стыках деталей, собирается в зазоры и заполняет их, образуя очень равномерные галтели.

Патентуется коррозионно стойкий припой для пайки алюминия и его сплавов с оловом, что добавка Mn увеличивает коррозионную стойкость и прочность паяного шва.

В качестве флюса для этого припоя рекомендуется применять смесь из 22% $NaCl$, 40% KCl , 18% $ZnCl_2$, 15% $LiCl$ и 5% $KNaF_2$.

Рекомендуется ещё припой, состоящий в основном из Al , Si и Ge , содержащий не более 0,5% других металлов.

Содержание Si составляет $(11,5-x)\%$, а Ge приблизительно $(4,5-x)\%$ при $x = 1-10,5$.

Но особенно делается упор на припой, содержащие чистый цинк. Цинксодержащие припои обеспечивают длительную (многогодовую) коррозионную стойкость паяного шва, особенно в атмосферных условиях. Здесь же указывается, что самым лучшим припоем, обладающим хорошей коррозионной стойкостью, является припой на основе цинка, в котором цинк самый легкоплавкий компонент.

В одном из патентов предлагается для повышения коррозионной стойкости паяных швов покрывать их слоем алюминия. Вероятно здесь имеется ввиду получение покрытий с помощью металлизации распылением.

Для предотвращения облуживания отдельных элементов приспособлений при пайке серебряными припоями в соляных ваннах имеются указания о защитных покрытиях. Составляется смесь из равного количества тяжелого машинного масла, порошка графита и бензина; после перемешивания смесь наносится на поверхность элементов приспособлений обычным способом или с помощью пульверизатора, а затем при температуре 200—300°С производится обжиг.

Одного слоя покрытия, выполненного указанным способом, оказывается достаточно для выполнения ряда операций по пайке твердыми припоями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Г. А. Теоретические основы электрометаллургии алюминия. Металлургиздат, 1953.
2. Алов А. А., Долгов Ю. С., Попов А. С. К вопросу о природе процессов сварки и пайки. «Сварочное производство», 1956, № 12.
3. Барч. Твердый припой для пайки алюминия и алюминиевых сплавов. Герм. патент № 4723, 1953.
4. Виноградов В. А., Бедов Д. Г. Пайка и лужение в конденсаторном производстве. Госэнергоиздат, 1953.
5. Вологдин Вл. В. Пайка при индукционном нагреве. М.—Л., Машгиз, 1957.
6. Газопламенная пайка металлов. ВНИИавтоген, Машгиз, 1955.
7. Герман. Пайка алюминия твердыми припоями, «Алюминум», 1953 № 4.
8. Глухов А. М. Припой для магния и его сплавов. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 63 438, 1944.
9. Дауд. Пайка алюминия, «Уэлдинг Джорнэл», 1954, т. 33, № 3, стр. 113—120.
10. Кард. Качественная пайка с применением парообразного флюса «Мэтириэлз энд Методз», 1953, т. 37, № 6, стр. 120—122.
11. Клейн П. Новые методы пайки — средство экономического соединения деталей из магния «Мэтириэлз энд Методз», 1948, VII, т. 27, № 6, стр. 83.
12. Конструктивные особенности магниевых сплавов «Мэшин Дизайн», 1955, № 6, стр. 258—273.
13. Кэмпбелл Дж. Б. Пайка в соляных ваннах как средство, повышающее экономику производства. «Мэтириэлз энд Методз», 1951, т. 33, № 1, стр. 64—66.
14. Лашко Н. Ф., Лашко-Авакян С. В. Металловедение сварки (некоторые вопросы). Машгиз, 1954.
15. Лоцманов С. Н. Паяние алюминия и его сплавов. Диссертация ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1951.
16. Портной К. И., Лебедев А. А. Магниевые сплавы. Metallurgizdat, M., 1952.
17. Применение магниевых сплавов для самолетных радиолокационных антенных устройств. «Модерн Металз», 1954, № 4.
18. Протц Г. Е. Метод пайки алюминия погружением. «Америкэн Мэшинист», 1955, т. 99, № 2.
19. Рудольф. Пайка алюминиевых деталей точных размеров в соляных ваннах. «Мэтириэлз энд Методз», 1954, т. 39, № 1.
20. Справочник машиностроителя. Т. 6, Машгиз, М., 1956.
21. Фролов А. И. Пайка печатных схем погружением с применением бумажного трафарета. «Радиотехническое производство», 1957, № 14. ЦБНТИ, М.
22. Хансен. Структура бинарных сплавов, т. 1, 1941.
23. Шварц К. Применение ультразвука для пайки алюминия. Технический отчет № 493, перевод с чешского, Л., 1956.
24. Школьник Г. М., Некоторые вопросы технологии печатных схем. «Радиотехническое производство», 1957, № 14, ЦБНТИ, М.
25. Шульгин И. Г. Способ пайки алюминиевых сплавов в расплавленных слоях. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 76885, 1949.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Глава 1. Основные сведения по технологии пайки	3
Введение	6
Характерные особенности и сущность процесса	—
Технологические требования к конструкции деталей и узлов, соединяемых пайкой	9
Глава 2. Марки, состав и характеристики флюсов и припоев	16
Флюсы для пайки меди и ее сплавов	17
Припой для пайки меди и ее сплавов	20
Флюсы для пайки алюминия	25
Твердые и мягкие припои для пайки алюминия	29
Флюсы для пайки магниевых сплавов	33
Припой для пайки магниевых сплавов	34
Глава 3. Технология приготовления флюсов и припоев	39
Приготовление тетрафторбораткалиевого флюса и флю- сов № 209 и 284	—
Приготовление флюсов для пайки алюминия и магния	41
Приготовление припоев для пайки алюминиевых и магниевых сплавов	43
Технология изготовления дозированных заготовок и прутков припоев	46
Глава 4. Пайка с нагревом токами высокой частоты	50
Сравнительные показатели процесса и применяемое оборудо- вание	—
Технологическая оснастка	52
Технология пайки алюминиевых узлов	62
Глава 5. Пайка алюминия с применением ультразвука	67
Аппаратура для ультразвуковой пайки	69
Технология лужения и пайки	72
Глава 6. Пайка в соляных ваннах	75
Оборудование, оснастка и состав солей для пайки латунных узлов	—
Оборудование, состав солей и припой для пайки алюминия	79
Технологический процесс	83
Глава 7. Пайка магниевых сплавов	88
Конструктивные особенности магниевых сплавов	—
Технология пайки твердыми припоями	89
Пайка мягкими припоями	93
Глава 8. Пайка радиодеталей в производстве изделий с печатными схемами	96
Способы изготовления печатных схем	—
Технология пайки погружением в расплавленный припой	98
Пайка струйным методом и ее особенности	103
Глава 9. Пайка с электроконтактным нагревом	106
Глава 10. Технология пайки в зарубежной практике	111
Литература	115

ОБМЕН

производственный

ОПЫТОМ

Б. А. МАКСИМИХИН

**ПАЙКА МЕТАЛЛОВ
В ПРИБОРОСТРОЕНИИ**



Ленинград - 1955